



UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention du diplôme de **LICENCE**

Domaine : Sciences de l'Ingénieur

Mention : AUTOMATISME ET INFORMATIQUE

Parcours : AUTOMATISME ELECTRONIQUE INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Par : **FANEVANTSOA Tompoinarivo Jean Claude**

Titre : **BRAS MANIPULATEUR D'ECHANTILLONS**

Soutenu le 07 Novembre 2020, devant la Commission d'Examen composée de :

Président de Jury : Docteur RANAIVOSOA Maminiana Lalaonirina Olivette

Examineurs :

Docteur RAZAFINDRAMINTSA Jean Luc

Docteur RASAMIMANANA François de Salle

Encadreur pédagogique : Monsieur RALAHARIJAONA Richard Zandrison

FISAORANA

Ny fisaorana an'Andriamanitra dia toy ny fary lava vany tsy lany hamamiana ka ndeha atolotra azy ny saotra, ny dera, ny haja ary ny voninahitra izay nanome hery sy tanjaka ary fahasalamana ka nahatontosana izao asam-pikarohana izao.

Isaorana andriamatoa RAVELOMANANA Mamy Raoul Talen'ny oniversite an'Antananarivo.

Manaraka izany, isaorana andriamatoa talen'ny IES-AV, izay vovonana iadian'ny lohany sy vato nasondrotry ny tany eto amin'ny IES-AV, hitombo voninahitra anie ianao.

Misaotra andramatoa RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, izay vavahady anton'ny vohitra, varavarana antoky ny trano nanome alalana hanohana izao asam-pikarohana izao, ho ambinin-java-manasatra tokoa anie ianao.

Mankasitraka indrindra ihany koa an' Andriamatoa RALAHARIJAONA Richard Zandrison, angady nananana sy vy nahitana, nanolo-tsaina sy nampianatra ahy tamin'ny fanatontosana ity asa ity.

Tsy hay ny tsy hisaotra anareo rantsana miray felana, akanga miara-manjohy nanaiky hitsara izao voka-pikarohana izao :

- Andramatoa RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette
- Andriamatoa RAZAFINDRAMINTSA Jean Luc
- Andriamatoa RASAMIMANANA François de Salle ho ampoky ny soa sy ny tsara mandrakariva anie ianareo.

Isaorana ihany koa ianareo mpampianatra sy mpanabe rehetra eto amin'ny sampam-piofonana « AUTOMATISME ET INFORMATIQUE », ianareo ray aman-dreny, fianakaviana sy ianareo tapaka sy namana izay nanohana sy nanampy hatrany tamin'ny fotoana rehetra ary nankahery ahy. Hotahin'Andriamanitra anie ianareo.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je rends grâce à Dieu tout puissant de m'avoir donné la force, la santé, le courage, la patience et de connaissance. L'honneur, la gloire et louange Lui est digne.

J'exprime également mes sincères remerciements à :

Professeur RAVELOMANANA Mamy Raoul, directeur de l'Université d'Antananarivo

Professeur RAJAONARISON Eddie Franck, directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe Vakinankaratra de m'avoir accepté au sein de l'IES-AV.

Docteur RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, chef de mention Automatisation et Informatique pour son soutien et sa disponibilité.

C'est aussi avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mon encadreur de mémoire monsieur RALAHARIJAONA Richard Zandrison pour la sollicitude avec laquelle, il a suivi mon travail et pour son aide et ses conseils durant l'élaboration de ce projet. Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury :

- Docteur RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette

- Docteur RAZAFINDRAMINTSA Jean Luc

- Docteur RASAMIMANANA François de Salle d'assister à ma soutenance en qualité d'examineur dans le jury de ce mémoire, malgré leurs multiples responsabilités.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous les enseignants qui nous ont enseigné durant nos études universitaires à l'IES-AV, à mes parents et mes amis pour leur soutien, moralement et financièrement ainsi que leurs encouragements et leurs prières. Que Dieu vous bénisse.

TABLE DES MATIERES

FISAORANA.....	i
REMERCIEMENTS	ii
NOTATIONS.....	vi
LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....	vii
INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLEME	1
CHAPITRE 1 GENERALITE SUR LE BRAS MANIPULATEUR ET LE CONVOYEUR... 2	2
1.1 Bras manipulateur.....	2
1.2 Historique.....	2
1.2.1 Robots mobiles.....	3
1.2.2 Robots manipulateurs	4
1.3 Composants d'un système robotique	6
1.3.1 Unité informationnelle	6
1.3.2 Unité opérationnelle	6
1.4 Caractéristiques géométriques	7
1.5 Architecture des robots.....	7
1.6 Classification des robots	8
1.6.1 Manipulateur à commande manuelle	9
1.6.2 Manipulateur automatique.....	9
1.6.3 Robots programmables.....	10
1.6.4 Robots intelligent.....	10
1.7 Caractéristiques d'un robot.....	11
1.7.1 Domaines d'application.....	11
1.8 Convoyeur	12
1.8.1 Type de convoyeur	13
1.8.2 Caractéristique technique des convoyeurs à bande	14
CHAPITRE 2 MODELISATION DU SYSTEME	18
2.1 Introduction	18

2.1.1 Description de la partie mécanique du bras manipulateur	18
2.1.2 Bras manipulateur assemblé	20
2.2 Organes constitutifs d'un bras manipulateur	20
2.2.1 Actionneurs	20
2.2.2 Présentation du bras manipulateur	21
2.2.3 Modélisation du bras manipulateur réalisé	21
2.2.4 Paramètre de DENAVIT- HARTENBERG (D-H).....	22
2.3 Paramètres de Denavit-Hartenberg modifiés	23
2.3.1 Méthode.....	23
2.3.2 Notion de position.....	24
2.3.3 Coordonnées cartésiennes.....	25
2.3.4 Coordonnées cylindriques	26
2.3.5 Coordonnées sphériques	26
2.3.6 Notion d'orientation.....	27
2.4 Modèle Géométrique direct.....	27
2.5 Modèle géométrique inverse.....	28
2.6 Performances	29
2.7 Modèle de connaissance sur le moteur à courant continu	29
2.8 Etude théorique des moteurs électriques à courant alternatif	31
2.8.1 Structure des moteurs électriques.....	31
2.8.2 Eléments constitutifs d'un circuit à courant alternatif.....	31
2.9 Description de la partie mécanique du convoyeur	33
2.9.1 Moteur	33
2.9.2 Tambour.....	33
2.9.3 Calcul de nombre de tour du convoyeur	33
CHAPITRE 3 CONCEPTION DU SYSTEME	35
3.1 Hardware	35
3.1.1 Arduino méga 2560	35
3.1.2 Actionneurs (servomoteurs)	36
3.1.3 Paramètres techniques des servomoteurs	38
3.2 Variété de servomoteur.....	38
3.2.1 Servo MG995 métal Tower pro.....	38

3.2.2 Fils de connexion	39
3.3 Software.....	39
3.3.1 Présentation du logiciel.....	39
3.4 CONVOYEUR.....	41
3.4.1 Gradateur.....	41
3.4.2 Schéma électrique du gradateur réalisé	41
3.4.3 Fonction des composants	41
3.5 Fonctionnement du gradateur.....	43
3.6 Éléments mobiles de transmission d'énergie	44
3.7 Bras manipulateur et convoyeur ensemble	46
3.8 Organigramme du bras manipulateur réalisé	47
3.8.1 Différente partie du BM (montage-démontage)	47
3.9 Etude socio-économique.....	48
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	49
ANNEXES	x
REFERENCES.....	xiii
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	xvi
RESUME ET MOTS CLES.....	xvi

NOTATIONS

1. Minuscules latines

$u(t)$	Tension du moteur	[V]
$i(t)$	Intensité dans le moteur	[A]
$e(t)$	Force électromotrice du moteur	[V]
F	Paramètre de « frottement fluide » total	[N.m.s]
$\omega_m(t)$	Vitesse angulaire du moteur	[rad/s]
L	Longueur	[m]

2. Majuscules latines

$C_m(t)$	Couple exercé par le moteur	[N.m]
$C_r(t)$	Couple résistant sur l'axe moteur	[N.m]
R	Valeur de la résistance	[Ω]
L	Valeur de l'inductance	[H]
K_b	Mémoire	[bit]
K_t	Paramètre de « frottement fluide » total	[N.m.s]
K_e	Coefficient de la force contre électromotrice	[V/(rad/s)]
V	Vitesse	[m/s]

3. Minuscules grecques

Θ	Angle de rotation	[rad]
w	Vitesse angulaire	[rad/s]

4. Abréviations

IES-AV	Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe – Vakinankaratra
BM	Bras manipulateur
Ddl	Degré de liberté
DH	Denavit Hartenberg
DHM	Denavit Hartenberg Modifié

LISTES DES TABLEAUX ET DES FIGURES

1. Liste des tableaux

Tableau 2.01 : Caractéristiques techniques du BM1.	21
Tableau 3.01 : Synthèse des caractéristiques d'Arduino.	36
Tableau 3.02 : Paramètres techniques des servomoteurs utilisés.	38
Tableau 3.03 : Étude socio-économique pour le mini-projet (maquette)	48
Tableau 3.04 : prix de quelque matériel en grande échelle.	49

2. Liste des figures

Figure 1.01 : Robot mobile.	3
Figure 1.02 : Bras manipulateur série et bras manipulateur parallèle.	4
Figure 1.03 : Structure fonctionnelle d'un robot	6
Figure 1.04 : Architecture d'un robot.	7
Figure 1.05 : Manipulateur à commande manuelle	9
Figure 1.06 : Manipulateur automatique.	9
Figure 1.07 : Robot programmable	10
Figure 1.08 : Robot intelligent.	11
Figure 1.09 : Convoyeur à chaîne.	14
Figure 1.10 : Types de supports de bande	15
Figure 1.11 : Batterie à trois rouleaux	16
Figure 1.12 : Batteries à deux rouleaux	16
Figure 1.13 : Support de glissement	17
Figure 2.01 : Base du BM	18
Figure 2.02 : L'épaulé, le coude et le poignet du BM.	19
Figure 2.03 : Pelle du BM.	19
Figure 2.04 : BM assemblé.	20
Figure 2.05 : Explication des paramètres de Denavit-Hartenberg	22
Figure 2.06 : Comment choisir l'axe des y.	24
Figure 2.07 : Vecteur et ces positions	25
Figure 2.08 : Orientation d'un solide dans l'espace	25

Figure 2.09 : Système de coordonnées sphérique	26
Figure 2.10 : Les vecteurs des variables articulaires	28
Figure 2.11 : Un moteur à courant continu	30
Figure 3.01 : Arduino MEGA	35
Figure 3.02 : Exemple de signal en position pour un servomoteur	37
Figure 3.03 : Servomoteur	37
Figure 3.04 : Fils de connexion	39
Figure 3.05 : Interface d'Arduino.	40
Figure 3.06 : Gradateur de vitesse	41
Figure 3.07 : Symbole d'un condensateur	42
Figure 3.08 : Résistance métallique.	43
Figure 3.09 : Résistance au carbone	43
Figure 3.10 : Système de transmission à haute puissance	44
Figure 3.11 : Système de transmission à faible puissance	45
Figure 3.12 : Convoyeur à bande réalisé	45
Figure 3.13 : BM et convoyeur assemblé	46
Figure 3.14 : Organigramme du BM	47

INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLEME

De nos jours, l'utilisation des machines dans l'industrie est de plus en plus importante.

L'automatisation des systèmes permet une conception plus rapide et plus sûre. Dans la recherche, l'utilisation de la robotique augmente, celle-ci permet de manipuler des divers produits ou objets avec beaucoup de précision dans le milieu plus dangereux.

Aujourd'hui, il existe plusieurs types de robots conçus pour des tâches bien spécifiques. Les robots industriels actuellement en service sont des robots de manipulateur et des robots mobiles. Ils sont bien implantés dans les procédés de fabrication modernes. Ils sont employés pour augmenter le volume de production et améliorer la qualité du produit dans les chaînes de montage de l'industrie comme l'automobile, ils remplacent les ouvriers dans les tâches pénibles, répétitives ou dangereuses.

Dans ce mémoire, notre étude se base sur les robots manipulateurs. L'objectif est de concevoir un bras manipulateur d'échantillonnage des matières à travers un convoyeur à bande pour contrôler la qualité des mélanges au laboratoire afin d'améliorer quelque composant avant d'arriver au produit fini. En général, les travaux dans l'usine sont durs. C'est pour cette raison que nous avons choisi le thème intitulé un bras manipulateur d'échantillons. Notre mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre concernera la généralité sur le bras manipulateur et le convoyeur à bande. L'analyse des différentes composant du robot manipulateur est aussi développé.

Le deuxième chapitre est consacré au problème de la réalisation mécanique du bras manipulateur et à la modélisation mathématique en utilisant le modèle de Denavit-Hatemberg modifié.

Le troisième chapitre détaillera la réalisation et la commande du système à l'aide de logiciel de programmation et un microcontrôleur.

CHAPITRE 1 GENERALITE SUR LE BRAS MANIPULATEUR ET LE CONVOYEUR

La robotique est considérée comme un des grands axes de progrès scientifiques et techniques, elle consiste à l'automatisation de nombreux secteurs de l'activité humaine afin par exemple, d'augmenter la productivité dans les entreprises, stimuler la compétitivité entre eux et surtout pouvoir travailler dans des zones à haut risque. Les convoyeurs ont été utilisés pendant des décennies dans le transfert de la majeure partie des marchandises, et ont fait leurs preuves partout parce que les convoyeurs à bandes peuvent être adaptés à presque toutes les conditions locales ainsi que le secteur d'activité des systèmes robotiques s'est élargi de façon importante en particulier dans plusieurs domaines. L'objet du premier chapitre est d'apporter quelques définitions de base, décrire les constituants technologiques d'un robot et un bref historique sur l'évolution de la robotique industrielle et le convoyeur.

1.1 Bras manipulateur

C'est un système de positionnement où les forces agissant au niveau des articulations sont produites par des actionneurs. Ces derniers peuvent être de type électrique, hydraulique ou pneumatique. Appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable. La robotique peut être définie comme l'ensemble des techniques et études tendant à concevoir des systèmes mécaniques, informatiques ou mixtes, capables de se substituer à l'homme dans ses fonctions motrices, sensorielles et intellectuelles. C'est aussi la branche de la technologie qui traite la conception, la construction, l'exploitation et l'application des robots [1.01].

1.2 Historique

Depuis la nuit des temps, un des rêves essentiels de l'homme, c'est de créer une machine intelligente à son image. Ce rêve fait désormais partie de la réalité frappante de notre monde. Le concept du robot a été établi par de nombreuses réalisations historiques créatives, tel que : l'horloge à l'eau de Clepsydre introduite par les Babyloniens (1400 avant Jésus Christ), Le théâtre de l'automate du Héros d'Alexandrie (100 après Jésus Christ), les machines hydrauliques hydro alimentées et les humanoïdes d'Al-Jazari (1200) et les nombreux designs ingénieux de Léonard de Vinci (1500). Néanmoins, l'émergence du robot physique a dû attendre l'avènement de ses technologies sous-jacentes au cours du XXe siècle [1.02].

En 1947 : L'apparition de premier manipulateur électrique téléopéré.

En 1945 : Invention du premier robot qui peut être programmé.

En 1961 : Montage d'un robot sur une chaîne de fabrication de General Motors.

En 1961 : Premier robot avec contrôle en effort.

En 1963 : Le premier contrôle du robot avec vidéo [1.02].

Il existe deux types de robots : robots mobiles et robots manipulateurs.

1.2.1 Robots mobiles

Les robots sont des robots capables de se déplacer dans un environnement, Ils sont équipés ou non de manipulateurs suivant leur utilisation (les robots explorateurs, les robots de services...). Les robots mobiles autonomes : Les possibilités sont plus vastes, du fait de leur mobilité. Notamment, ils peuvent être utilisés en zone dangereuse (nucléaire, incendie, sécurité civil, déminage...etc.), inaccessible (océanographies, spatial), de tels robots font appel à des capteurs et à des logiciels sophistiqués. On peut distinguer deux types de locomotion : les robots marcheurs qui imitent la démarche humaine, et les robots mobiles qui ressemblent plus à des véhicules.

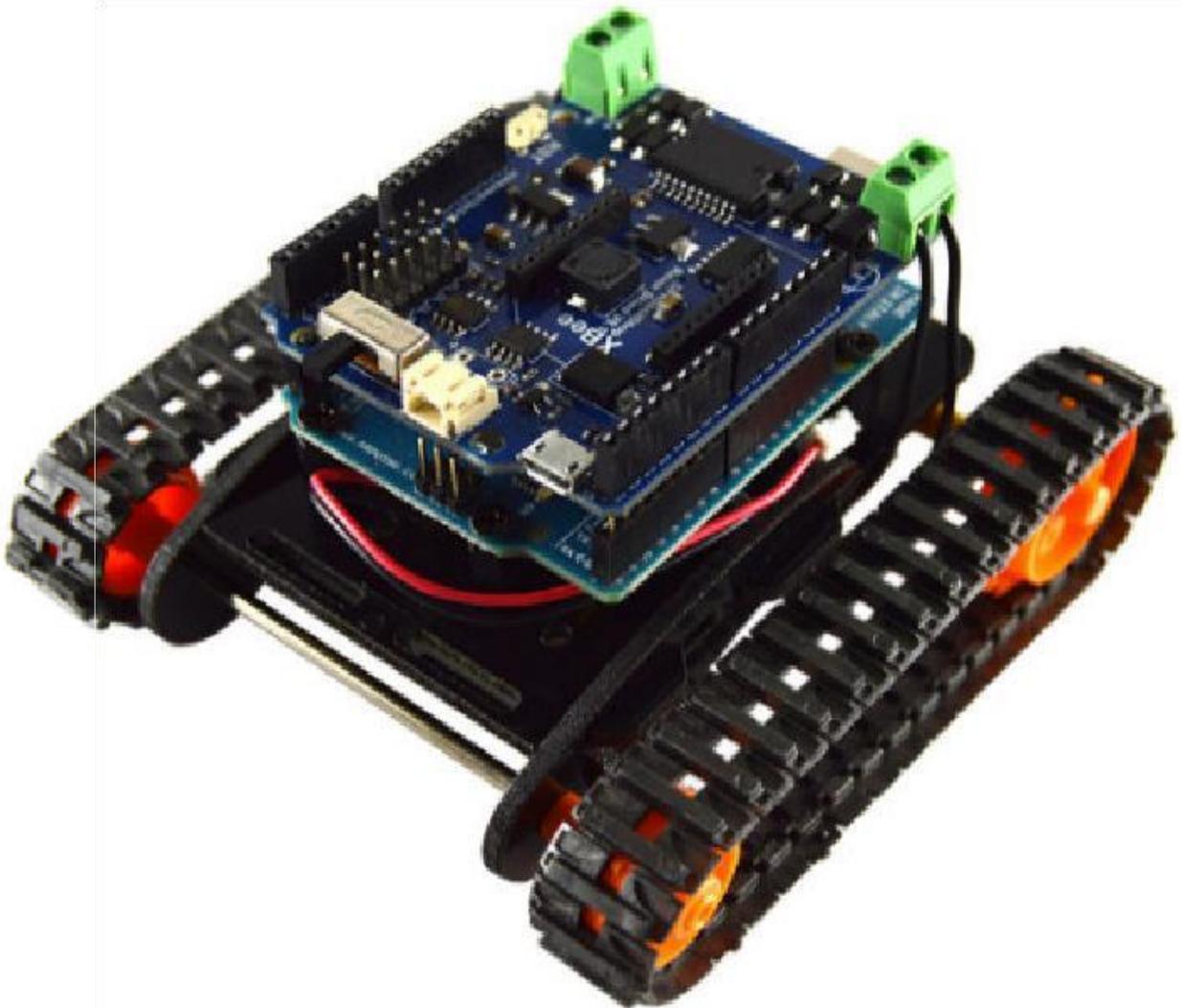


Figure 1.01 : Robot mobile [1.06].

1.2.2 Robots manipulateurs

Les robots manipulateurs sont des robots ancrés physiquement à leur place de travail et généralement mis en place pour réaliser une tâche précise et répétitive. Ils sont des manipulateurs automatiques programmés qui se substituent à l'homme pour l'accomplissement de tâches répétitives, tels que les bras manipulateur, médicaux, les robots industriels...



Figure 1.02 : Bras manipulateur série et bras manipulateur parallèle [1.05].

Les robots didactiques sont de version ou format réduite des robots. Ils ont un rôle de formation et d'enseignement, ils peuvent aussi être utilisés pour effectuer des tests de faisabilité d'un poste robotisé. Le robot industriel, la définition que l'on donne actuellement au robot industriel diffère quelque peu selon les pays. D'après le robot Institute of Américain « Un robot est un manipulateur reprogrammable à fonctions multiples. Il est conçu pour déplacer des matériaux, des pièces, des outils ou des instruments spécialisés suivant des trajectoires variables programmées, en vue d'accomplir des tâches très diverses » [1.01]. Selon l'International Standard Organisation (ISO)

« C'est une machine formée par un mécanisme incluant plusieurs degrés de libertés, ayant souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet capable de tenir des outils, des pièces ou un dispositif d'inspection » [1.01].

Les manipulateurs sont des systèmes mécaniques destinés à exécuter de manière autonome des tâches répétitives dans un environnement fixe et ordonné et dont les mouvements sont enregistrés dans une mémoire se répètent de manière cyclique, aucune fonction de décision ne lui permet de réagir dans le cas d'un événement inattendu, c'est pour ça qu'ils sont appelés automates. Les domaines d'application des manipulateurs sont : la peinture, le soudage par position, la manipulation des objets, ... [1.09]. Le télémanipulateur ou robot de télé-opération est un système mécanique poly-articulé et multifonctionnel capable d'assister l'homme dans les opérations effectuées en milieu hostile ou suppléer un handicapé. Il est constitué par deux entités : Un bras maître et un bras esclave. Le bras esclave reproduit instantanément le mouvement imposé par un opérateur à un bras maître. Ce dernier est constitué d'une boîte à boutons, d'une poignée de commande ou d'une structure articulée identique à celle du bras esclave. Malgré la présence indispensable d'un opérateur, ce système est doté de potentialité comparable aux robots évolués [1.09] :

Prise de décision lors de vision réduite, retour d'effort vers le bras maître, amplification ou atténuation des mouvements, autonomie de l'esclave pour alléger la charge de travail à l'homme, et création de mouvements élémentaires autonomes. L'application des télémanipulateurs est répandue dans les domaines nucléaires (manipulation des produits radioactifs), spatial (exploration des planètes), sous-marin (forage), militaire (démontage) et médical (prothèse).

On distingue deux classes :

— Les robots manipulateurs industriels sont constitués d'un manipulateur et d'organes aptes à acquérir, traiter et gérer des informations issues de l'environnement. Ils sont dotés de sens artificiel (vision, tactile...) et de ressources méthodologiques lui permettant de résoudre des problèmes de difficultés toutefois limitées. Ces robots sont essentiellement orientés vers les applications nécessitent une adaptabilité à la tâche : assemblage, soudage à l'arc, vérification, test...etc.

— Les robots didactiques sont de version ou format réduite des robots. Ils ont un rôle de formation et d'enseignement, ils peuvent aussi être utilisés pour effectuer des tests de faisabilité d'un poste robotisé

1.3 Composants d'un système robotique

La structure fonctionnelle d'un robot est par la figure ci-dessous :

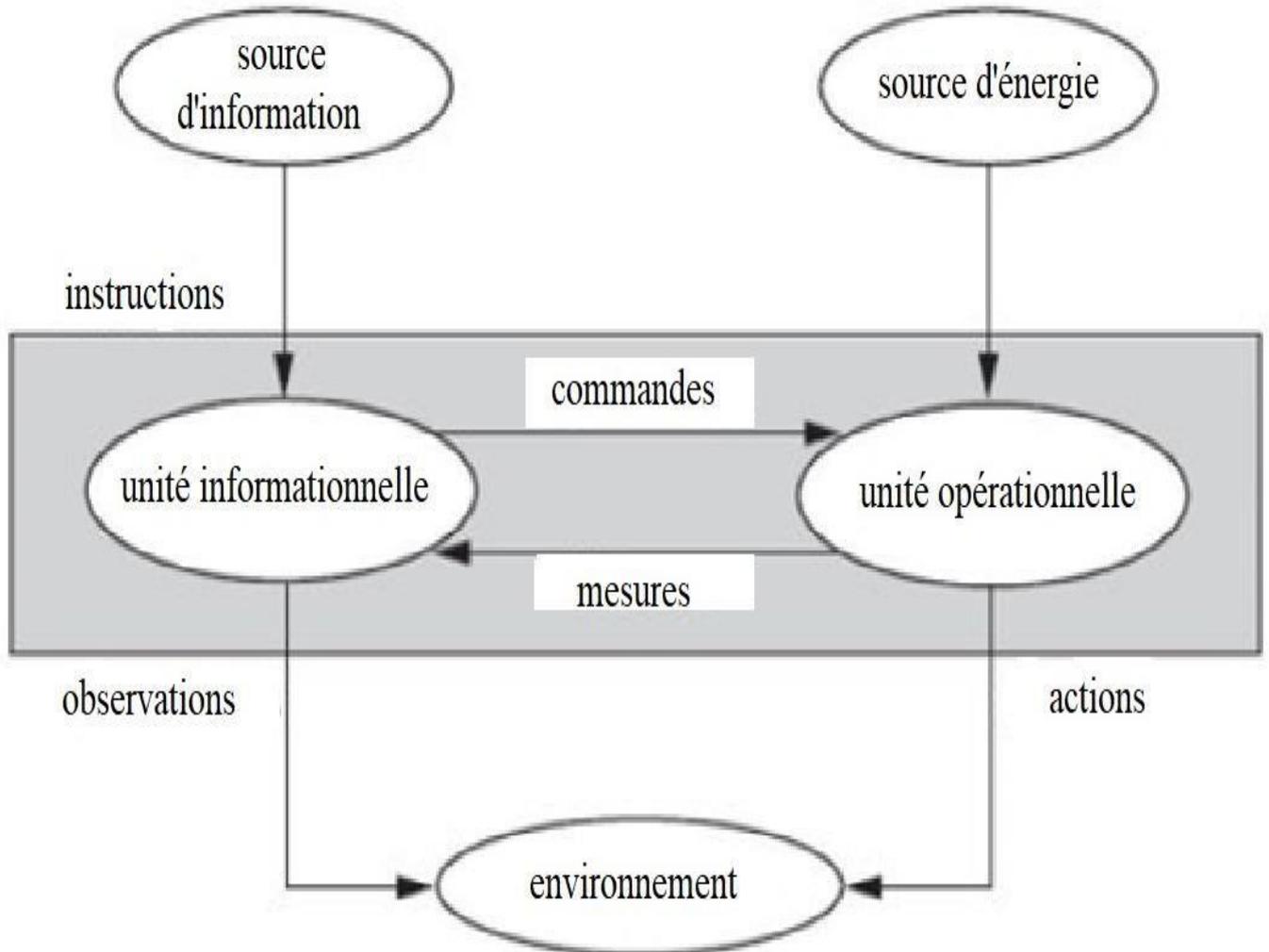


Figure 1.03 : Structure fonctionnelle d'un robot [1.03].

1.3.1 Unité informationnelle

Reçoit les instructions décrivant la tâche à accomplir, les mesures relatives à l'état interne de la structure mécanique qui constitue le bras manipulateur et les observations concernant son environnement. Elle élabore en conséquence les commandes de ses différentes articulations en vue de l'exécution de ces tâches. Les systèmes actuels fonctionnent en interaction permanente selon le cycle information-décision-action [1.06].

1.3.2 Unité opérationnelle

Exerce les actions commandées en empruntant la puissance nécessaire à la source d'énergie. Cette partie, qui constitue le robot physique, intègre la structure mécanique (segments, articulations, architecture...), les modules d'énergie (amplificateurs, variateurs, ...), les convertisseurs d'énergie

(moteurs, vérins ...), les chaînes cinématiques de transmission mécanique (réducteurs, vis à billes, courroies crantées ...) et enfin l'effecteur, ou organe terminal, qui est en interaction avec l'environnement [1.06].

1.4 Caractéristiques géométriques

- Nombre d'axes (mus par un actionneur).

-Architecture (série ou parallèle).

-Chaînage des articulations.

-Nombre de degrés de liberté.

P : Prismatique (Translation)

R : Rotation ddl Degrés de liberté

1.5 Architecture des robots

La figure ci-dessous montre l'architecture d'un robot.

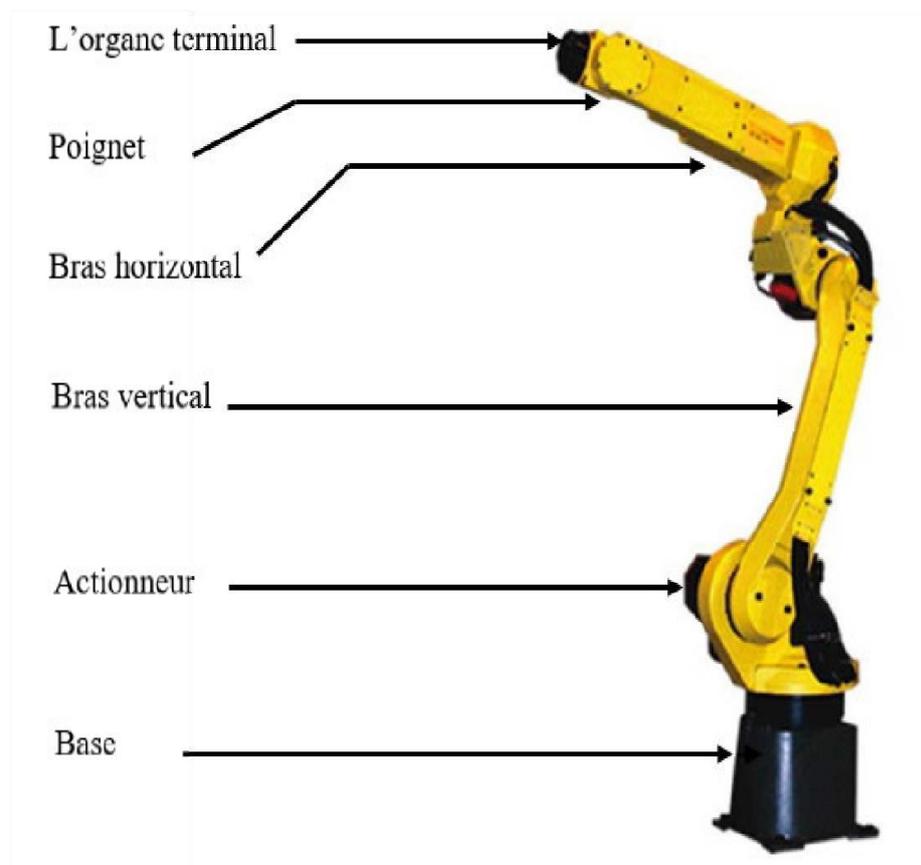


Figure 1.04 : Architecture d'un robot [1.07].

La base du manipulateur est fixée sur le lieu du travail. Ceci est le cas de la quasi-totalité des robots industriels. Le porteur représente l'essentiel du système mécanique articulé (segment, articulation, actionneur, organe terminal), il a pour rôle d'amener l'organe terminal dans une situation imposée. Il est constitué de segment qui est le corps solide rigide susceptible d'être en mouvement par rapport à la base du porteur, et les uns par rapport aux autres.

Une articulation lie deux corps successifs en limitant le nombre de degré de liberté, de l'un par rapport à l'autre. L'actionneur, c'est l'organe qui peut être animé, la structure mécanique articulée comporte des moteurs le plus souvent associés à des transmissions (courroies crantées), l'ensemble constitue les actionneurs. Ils utilisent fréquemment des moteurs. On trouve de plus en plus de moteurs à commutation électronique (sans balais), ou pour de petits robots, des moteurs pas à pas.

Pour les robots devant manipuler de très lourdes charges (par exemple, une pelle mécanique), les actionneurs sont le plus souvent hydrauliques, agissant en translation (vérin, hydraulique) ou en rotation (moteur hydraulique). (Les actionneurs pneumatiques sont d'un usage général pour les manipulateurs à cycles (robots tout ou rien)).

Un manipulateur à cycles est une structure mécanique articulée avec un nombre limité de degrés de liberté permettant une succession de mouvements contrôlés uniquement par des capteurs de fin de course réglables manuellement à la course désirée (asservissement en position difficile dû à la compressibilité de l'air). L'organe terminal, il s'agit d'une interface permettant au robot d'interagir avec son environnement. Un organe terminal peut être multifonctionnel, au sens où il peut être équipé de plusieurs dispositifs ayant des fonctionnalités différentes. Il peut aussi être monofonctionnel, mais interchangeable [1.06].

1.6 Classification des robots

On peut classer les robots d'un point de vue fonctionnel ou d'après leur structure géométrique.

Le nombre de classe et les distinctions entre celles-ci varient de pays à pays (6 classes au Japon, 4 en France). L'A.F.R.I. distingue 4 classes illustrées ci-dessous :

1.6.1 Manipulateur à commande manuelle

Les manipulateurs à commande manuelle :



Figure 1.05 : Manipulateur à commande manuelle [1.08]

1.6.2 Manipulateur automatique

La figure ci-dessous montre un bras manipulateur qui exerce des mouvements de soudure sans l'intervention de l'homme.



Figure 1.06 : Manipulateur automatique [1.08].

1.6.3 Robots programmables

Ils répètent les mouvements qu'on leur a appris ou programmés sans informations sur l'environnement ou la tâche effectuée. On peut aussi faire la distinction entre robots « playback » qui reproduit la tâche apprise et robots à commande numérique qui peuvent être programmés hors-ligne. Pour certains robots, par exemple les robots de peinture, qui doivent suivre une trajectoire complexe et difficile d'être exprimée mathématiquement, un opérateur humain spécialiste de la tâche effectue la trajectoire en guidant le bras du robot à l'aide d'un « pantin », et l'entièreté de la trajectoire est mémorisée par le robot, représente les robots programmables.



Figure 1.07 : Robot programmable [1.15].

1.6.4 Robots intelligents

On trouve actuellement des robots de seconde génération qui sont capables d'acquérir et d'utiliser certaines informations sur leur environnement (systèmes de vision, détecteurs de proximité, capteurs d'efforts,). Les robots de troisième génération sont capables de comprendre un langage oral proche du langage naturel et de se débrouiller de façon autonome dans un environnement complexe grâce à l'utilisation de l'intelligence artificielle.



Figure 1.08 : Robot intelligent [1.15].

1.7 Caractéristiques d'un robot

Un robot doit être choisi en fonction de l'application qu'on lui réserve. Voici quelques paramètres à prendre, éventuellement en compte :

- La charge utile transportable par le robot.
- L'espace de travail : c'est l'ensemble des situations de l'espace que l'organe terminal du robot peut atteindre.
- Les vitesses et les accélérations maximales, qui conditionnent le temps du cycle.
- Les performances (l'écart entre une situation commandée et la moyenne des situations atteintes).

1.7.1 Domaines d'application

Les robots industriels peuvent être utilisés dans plusieurs domaines et peuvent accomplir différentes tâches.

➤ Tâches simples

La grande majorité des robots est utilisée pour des tâches simples et répétitives. Ils sont programmés une fois pour toute au cours de la procédure d'apprentissage [1.17]. Les critères de choix de la solution robotique sont :

- La tâche est assez simple pour être robotisée.
- Les critères de qualité sur la tâche sont importants.
- Pénibilités de la tâche (peinture, charge lourde, environnement hostile, ...).

Exemples de robots utilisés pour des tâches simples : robots soudeurs par points et robots soudeurs à l'arc.

➤ Tâches complexes

Robotique de service :

- Robot pompiste.
- Robot de construction.
- Robot Computer Motion.
- Robot Assistance aux Personnes Handicapées.

1.8 Convoyeur

A partir de la révolution industrielle et le progrès technologique, l'homme a pu arriver à l'industrialisation et le développement des moyens de transport et d'en faciliter l'usage.

Les convoyeurs ont été utilisés pendant des décennies dans le transfert de la majeure partie des marchandises, et ont fait leurs preuves partout parce que les convoyeurs à bandes peuvent être adaptés à presque toutes les conditions locales. La demande d'utilisation de la technologie de convoyeur à bande a augmenté plus que jamais, ce qui a conduit à l'accélération dans son développement pour mettre en œuvre les nouvelles réglementations en particulier en ce qui concerne leur impact sur le transfert des produits. [1.04] Les convoyeurs à bandes jouent généralement un rôle clé et efficace pour surmonter les difficultés de transfert de divers matières premières et de produits finis, en plus, tous les différents problèmes de transfert par convoyeur doivent être planifiées et organisées par des concepteurs spécialisés afin d'atteindre un transfert économique optimal de façon que toutes les conditions soient remplies. [1.04]

Il y a un certain nombre de règles et de compétences pratiques qui peuvent être utiles lors de la conception, dont le but est de fournir plus de données au cahier de charges pour le calcul du convoyeur.

Actuellement Il y a plus d'utilisation d'ordinateur pour calculer et dimensionner des convoyeurs à bande qui soient fiables aux conditions de fonctionnement spécifique. Un convoyeur est un mécanisme ou machine qui permet le transport d'une charge isolée (cartons, sacs, ...) ou de produit en vrac ou matière (aliments, poudre, terre, pierre, ...) d'un point A à un point B.

1.8.1 Type de convoyeur

Il existe plusieurs types de convoyeur, ce sont : les convoyeurs à bande, les convoyeurs à chaîne, les convoyeurs à chaîne magnétique, ... tous ces types ont leurs importances mais dans ce projet, on s'intéresse sur le convoyeur à bande.

a. Le convoyeur à bande

Les convoyeurs à bande sont caractérisés par le type de bande transporteuse utilisée (Matériaux, texture, épaisseur) et par la position du groupe de motorisation (central ou en Extrémité).

Dans tous les cas, un convoyeur à bande se compose :

- D'un tambour de commande et de sa moto réductrice
- D'un rouleau d'extrémité
- D'un châssis porteur avec une sole de glissement qui assure le soutien de la bande
- D'une bande transporteuse
- Les convoyeurs à bande modulaire permettent, grâce à leur bande rigide en acétal, d'accumuler des charges (avec frottement entre la bande et les objets transportés).

b. Le convoyeur à chaîne

Les convoyeurs à chaînes permettent le déplacement de charges qui ne pourraient pas l'être sur des convoyeurs à rouleaux (cas des palettes ou containers dont les "skis" sont Perpendiculaires au sens de déplacement). Selon la rigidité de la charge à transporter, le nombre de chaînes est augmenté de sorte à réduire l'entre-axe des chaînes. Il existe des convoyeurs à deux, trois, quatre, voire cinq chaînes et plus. Ces convoyeurs se caractérisent par le nombre de chaînes, les matériaux des chaînes (acier, inox, plastique) ainsi que la robustesse de leur châssis porteur qui dépend de la charge à supporter.

L'accumulation est en général non préconisée. Pour le passage d'un convoyeur à l'autre, il est quelquefois conseillé d'imbriquer les convoyeurs entre eux en variant les entraxes des chaînes.

L'entraînement des charges est alors assuré en permanence, y compris durant le transfert [1.10].

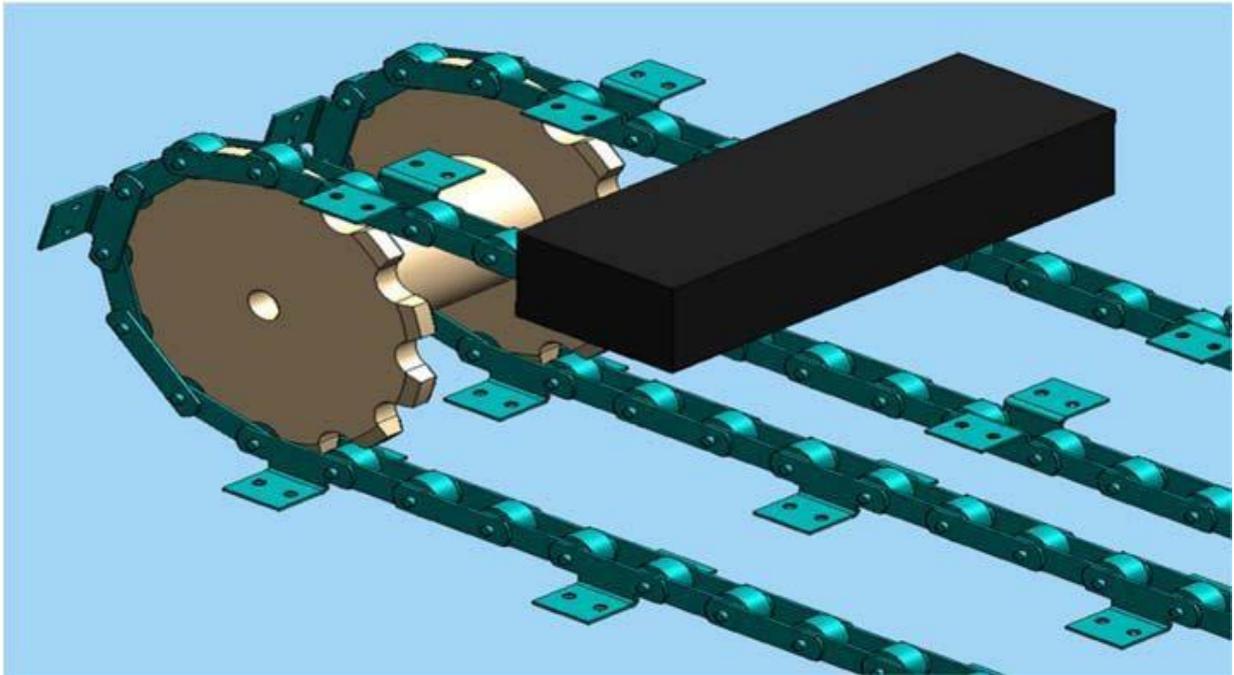


Figure 1.09 : Convoyeur à chaîne [1.10].

1.8.2 Caractéristique technique des convoyeurs à bande

1.8.2.1 Bande

Fonction : transporter les matériaux de la queue jusqu'à la tête du convoyeur. Se présente sous deux formes principales, plate et en auge. Toute bande comporte deux faces :

La face externe, qui est en contact avec les matériaux transportés, et la face interne, qui est en contact avec les rouleaux ou les tambours [1.10].

La courroie comporte aussi deux brins :

1a : Brin supérieur (ou brin porteur).

1b : Brin inférieur (ou brin de retour).

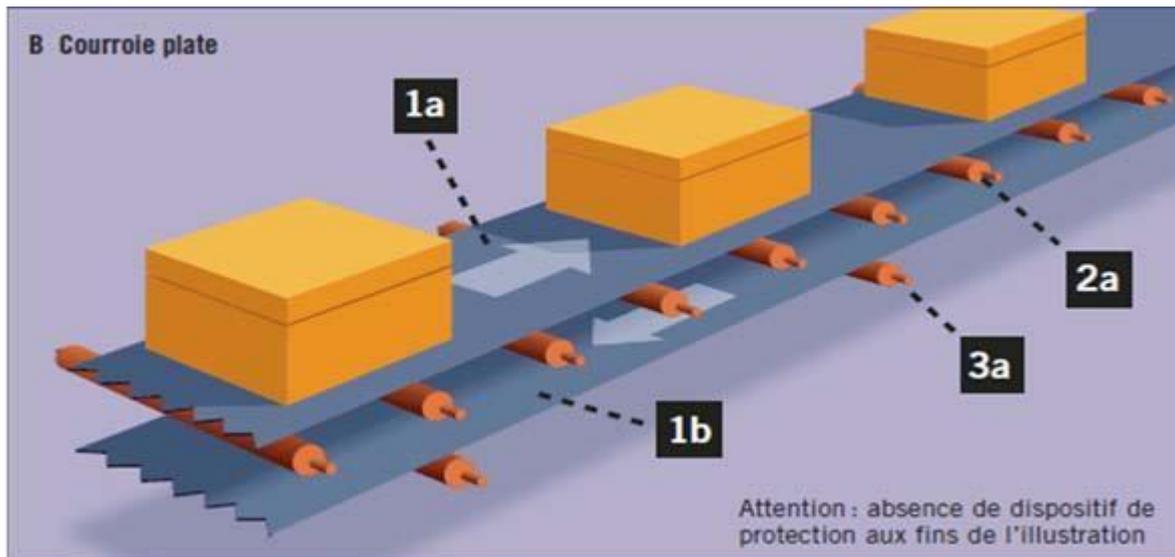


Figure 1.10 : Types de supports de bande [1.11]

1.8.2.2 Type de support de bande

Les tambours

Fonction : entraîner la bande ou l'amener à changer de direction. Celui de contrainte, il ramène le brin entrant ou sortant de la bande en ligne avec le brin de retour ou crée l'angle d'enroulement voulu autour du tambour d'entraînement [1.11].

a. Brin Porteur

Le brin porteur peut avoir pour soutien :

- Une batterie à rouleaux formés en auge
- Une batterie à rouleaux plats • Un support de glissement [1.11].

b. Batterie à trois rouleaux formés en auge

Il est utilisé pour le transport de marchandises en vrac. La batterie à rouleaux en auge offre une grande capacité, faible risque de perte de matières, et un guidage efficace de la bande avec λ l'angle d'auge [1.11].

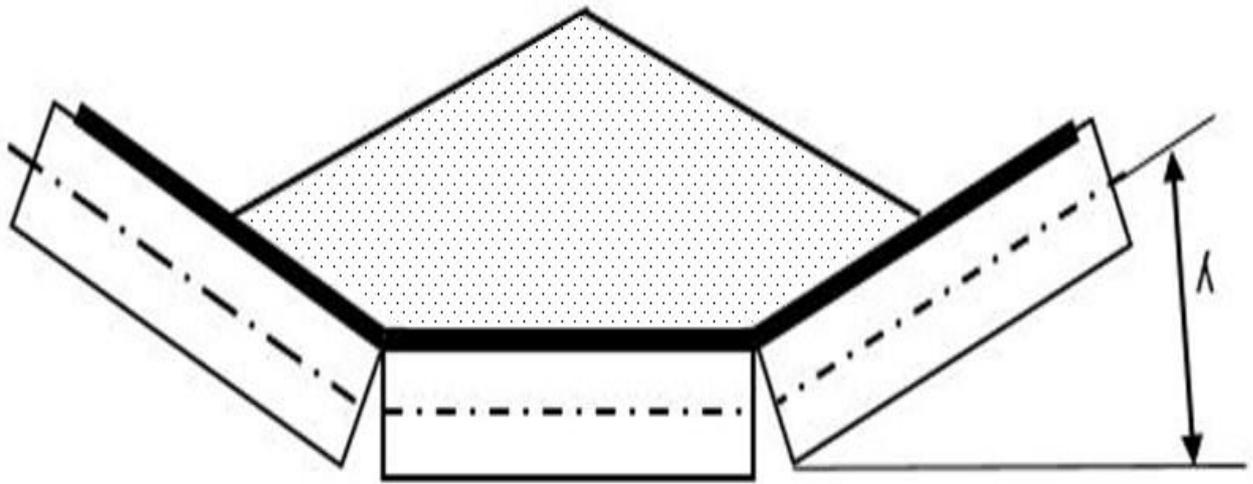


Figure 1.11 : Batterie à trois rouleaux [1.11]

c. Batteries à deux rouleaux

En général, cette batterie n'est utilisée qu'en cas de largeurs de bandes inférieures à 650 mm un angle d'auge supérieur à 25° n'est pas utile du fait des efforts exercés sur la bande [1.11].

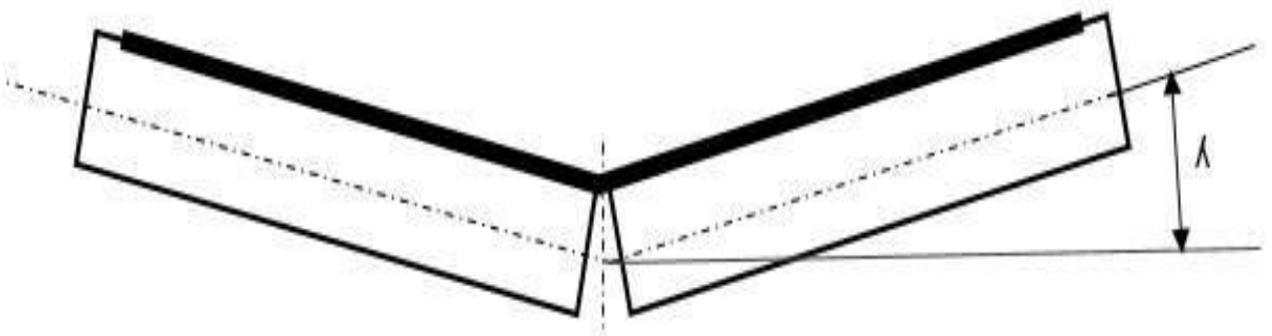


Figure 1.12 : Batteries à deux rouleaux [1.11]

d. Support de glissement

Peut être utilisé pour le transport de charges individuelles ou de produits en vrac.

Le support de glissement peut être réalisé en acier, en tissu synthétique ou en bois dur on utilise normalement, sur la face inférieure de la bande des bandes à faible frottement en raison des forces de friction entre la bande et le support de glissement [1.11].

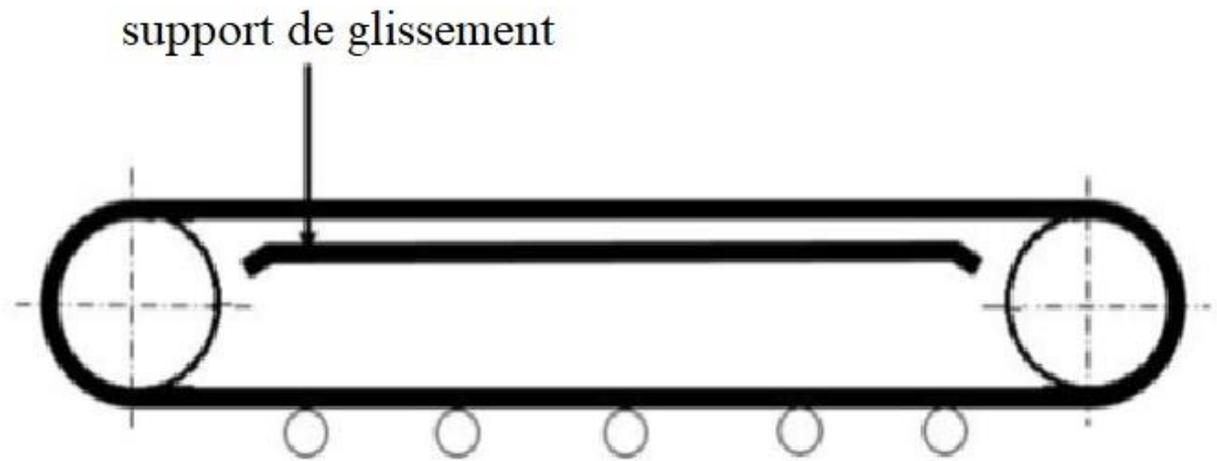


Figure 1.13 : Support de glissement [1.11]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur la robotique et le convoyeur : l'historiques, leurs structures, leurs utilisations, leurs différents types, leurs classifications ainsi que leurs domaines d'application ce qui va nous servir pour la construction de notre BM et le convoyeur à bande.

CHAPITRE 2 MODELISATION DU SYSTEME

2.1 Introduction

Dans tout système en robotique la mécanique et l'électronique sont liées, ceci se matérialise par l'étude des actionneurs des chaînes cinématiques associées et aussi par l'étude des capteurs qui constituent la source d'information. L'objectif de notre travail est de réaliser et commander un bras manipulateur à 4 degrés de liberté en utilisant une carte Arduino. Dans ce chapitre, on va d'abord décrire la partie mécanique de notre bras manipulateur, puis on va passer à la modélisation, qui consiste à représenter les aspects importants d'un système en décrivant les relations entre ses différentes grandeurs par des relations mathématiques.

2.1.1 Description de la partie mécanique du bras manipulateur

La réalisation du bras manipulateur BM a débuté par le téléchargement d'un fichier qui comporte la structure des pièces mécaniques constituant le bras réalisé. Après on a passé à la réalisation mécanique réelle.

On a utilisé trois servomoteurs pour la commande des articulations et un pour la rotation de la pelle. Les cinq parties importantes formant le bras sont les suivantes :

La base est le socle fixe du bras, elle contient un servomoteur qui permet la rotation du bras de 0° à 90° . Lorsque nous avons assemblé tout le bras, nous avons remarqué une légère inclinaison de la base à cause du poids exercé sur elle. Comme le montre la figure suivante :



Figure 2.01 : Base du BM

L'épaule est liée à la base à travers la deuxième articulation (servomoteur), qui permet la rotation de 0° à 30° . Le coude est lié à l'épaule par la troisième articulation, qui permet la rotation de 0° à 80° . Le poignet, il est lié au coude par la quatrième articulation, qui permet la rotation de 0° à 90° . La figure ci-dessous représente les trois constituants décrits.

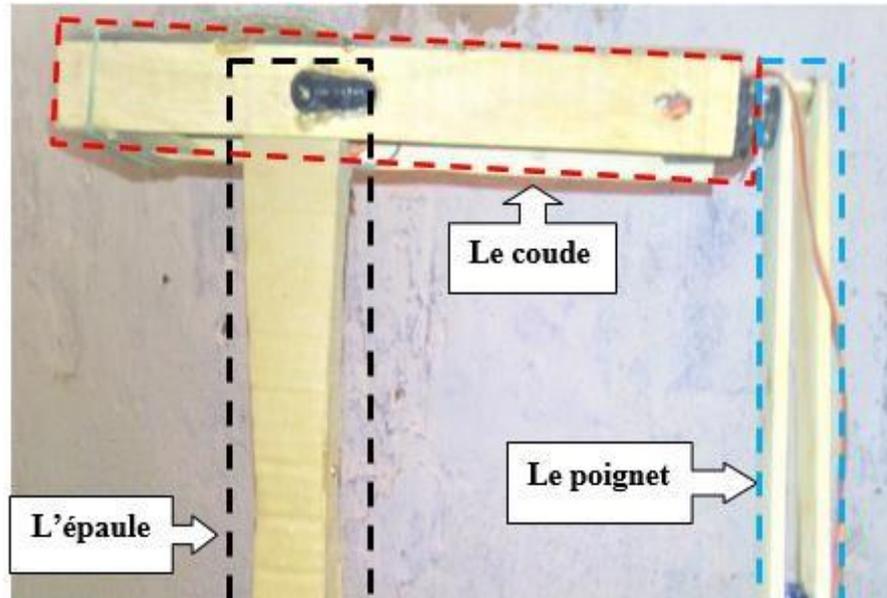


Figure 2.02 : L'épaule, le coude et le poignet du BM.

La pelle

C'est l'organe terminal du bras manipulateur, un servomoteur qui permet la rotation de 0° à 90° , il assure le vidage de la pelle, comme le montre la figure suivante.



Figure 2.03 : Pelle du BM.

2.1.2 Bras manipulateur assemblé

Après avoir vu les différentes pièces constituant le bras manipulateur, nous avons passé à leur assemblage. La figure ci-dessous montre le bras manipulateur après l'assemblage.

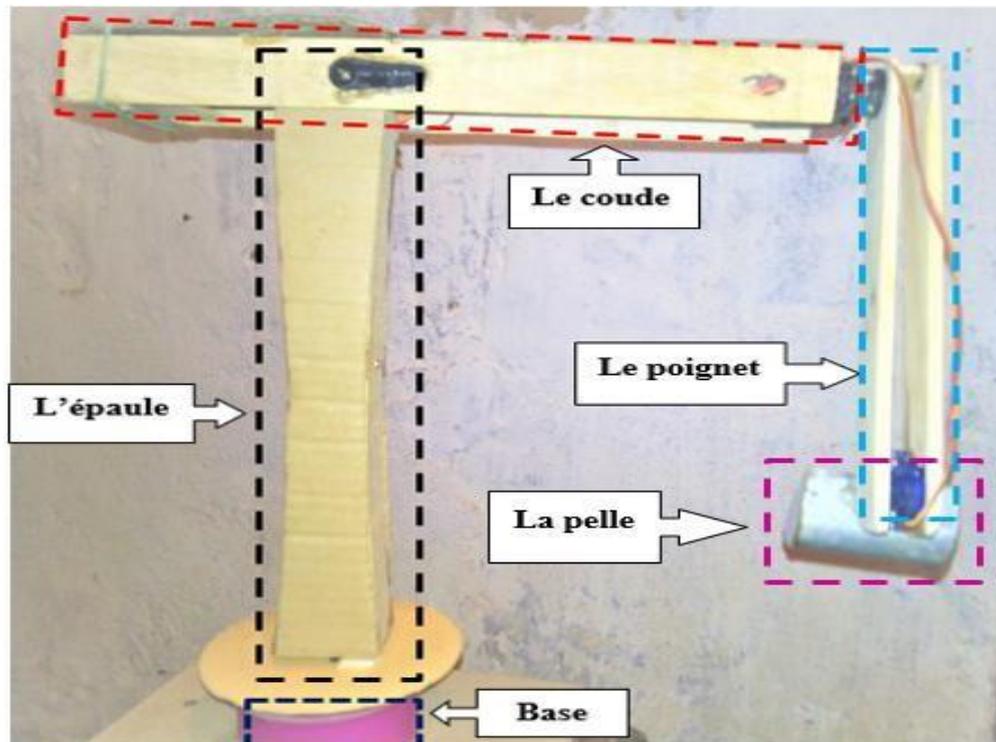


Figure 2.04 : BM assemblé.

2.2 Organes constitutifs d'un bras manipulateur

Pour que le bras manipulateur puisse exécuter une tâche il a besoin d'actionneur et de transmetteur, ces derniers servent à transmettre de l'énergie des actionneurs aux articulations rotoïdes.

2.2.1 Actionneurs

Ils s'agissent d'organes qui permettent au robot d'exécuter une tâche. Leur but est de produire assez de force pour provoquer le mouvement du robot, celui-ci représente la transformation d'une énergie mécanique.

Les trois actionneurs les plus utilisés sont les actionneurs hydrauliques surtout pour les grands robots qui peuvent soulever plusieurs dizaines de kilogrammes, les moteurs électriques souvent utilisés et les actionneurs pneumatiques qui n'exigent pas d'asservissements (robot à mouvement séquentiels). Dans notre projet nous avons utilisé les actionneurs électriques (servomoteur).

Chaque bras du BM est muni d'un petit moteur à courant continu pour le faire déplacée. Pour la pelle, un moteur est adapté pour le vidage. Les quatre moteurs utilisés sont des servomoteurs fonctionnent avec une tension de 5V générée par une alimentation continue stabilisée et un courant max de 3A. Un moteur électrique à courant continu est le muscle du bras de robot, qui est un dispositif électromécanique servant à convertir de l'énergie électrique d'entrée en énergie mécanique. Classiquement, un moteur à courant continu est constitué d'un stator fixe et d'un rotor mobile [1.17].

2.2.2 Présentation du bras manipulateur

Le bras manipulateur est un système de positionnement où les forces agissantes au niveau des articulations sont produites par des actionneurs. Ces derniers peuvent être de type pneumatique ou électrique (servomoteur dans notre cas).

L'objectif de notre travail est de réaliser et commander un bras manipulateur à quatre degrés de liberté en utilisant une carte Arduino.

2.2.3 Modélisation du bras manipulateur réalisé

Le bras manipulateur (BM réalisé) est constitué de deux sous-ensembles distincts : un organe terminal et une structure mécanique articulée. Le rôle de cette dernière est d'amener l'organe terminal dans une situation (position et orientation) donnée. Son architecture est une chaîne cinématique ouverte simple de corps rigides, assemblés par des liaisons appelées articulations (4 rotoides et une pelle).

Ces articulations sont actionnées par des servomoteurs qui s'actionnent par un signal de commande. Le tableau 2.01 ci-dessous donne les caractéristiques techniques du BM1 réalisé.

Tableau 2.01 : Caractéristiques techniques du BM1.

Caractéristiques techniques du bras manipulateur	
Nombre d'articulation	4
Actionneur	Servomoteurs
Rotations	
La base	90°
L'épaule	90°
Le coude	90°
La pelle	180°

2.2.4 Paramètre de DENAVIT- HARTENBERG (D-H)

D-H est la convention utilisée pour choisir le système de référence en robotique. Elle fut introduite par Jacques DENAVIT et Richards HARTENBERG [1.12].

Le passage du repère R_{j-1} au repère R_j s'exprime en fonction des quatre paramètres géométriques suivants :

1/ α_j : angle entre les axes Z_{j-1} et Z_j correspondant à une rotation autour de X_{j-1}

2/ d_j : distance entre z_{j-1} et z_j le long de x_{j-1} .

3/ θ_j : angle entre l'axe x_{j-1} et X_j correspondant à une rotation autour de z_j .

4/ r_j : distance entre x_{j-1} et x_j le long de z_j .

$${}^{j-1}T_j = \text{Rot}(x, \alpha_j) \times \text{Trans}(x, d_j) \times \text{Rot}(z, \theta_j) \times \text{Trans}(z, r_j).$$

$${}^{j-1}T_j = \begin{pmatrix} \cos\theta_j & -\sin\theta_j & 0 & d_j \\ \cos\alpha_j \sin\theta_j & \cos\alpha_j \cos\theta_j & -\sin\alpha_j & -r \sin\alpha_j \\ \sin\alpha_j \sin\theta_j & \sin\alpha_j \cos\theta_j & \cos\alpha_j & -r \cos\alpha_j \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Le bras manipulateur doit suivre une trajectoire précise lors du déplacement d'un objet à un endroit désigné par les coordonnées X, Y, et Z. Cette tâche nécessite l'utilisation du modèle géométrique direct et inverse [1.12].

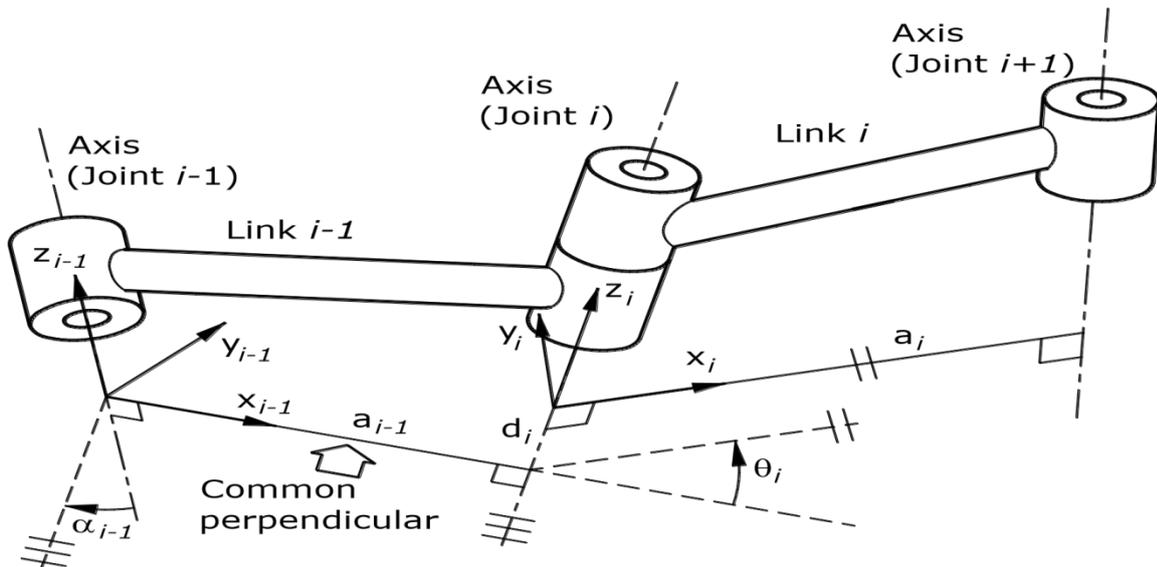


Figure 2.05 : Explication des paramètres de Denavit-Hartenberg [1.12].

2.3 Paramètres de Denavit-Hartenberg modifiés

2.3.1 Méthode

Il est possible de modéliser un bras articulé comme l'on a constaté dans le paragraphe précédent en exprimant que chaque repère lié à un segment a subi une rotation et une translation par rapport au repère lié au segment précédent.

La méthode Denavit-Hartenberg modifiés est la technique la plus simple à utiliser et la plus répandue pour nous informer sur la géométrie d'un bras manipulateur, et pour la maîtriser il suffit seulement de bien comprendre les paramètres de Denavit-Hartenberg modifiés, cette méthode propose des façons simples et efficaces, les matrices de transformation $T_{i, i+1}$ entre deux segments successifs ainsi que les repères qui y sont liés.

Cette méthode est applicable pour tout bras articulé ouvert, ou chaîne cinématique ouverte, dont chaque articulation possède un degré de liberté de rotation ou de translation. Ceci couvre la majorité des robots même notre robot [1.12].

Procédure :

Numérotation des segments

On commence à numéroter les segments constitutifs du bras manipulateur en commençant par la base, jusqu'à arriver à l'outil qui va porter l'indice n ($n=4$ dans notre robot) égale au nombre de degrés de libertés. On définit le système d'axes de chacun des segments, pour définir le système d'axes des segments en suit les règles suivantes :

On définit le repère absolu $R_0 = (O_0, x_0, y_0, z_0)$ de manière arbitraire (fixe), le repère R_0 est défini librement en suivant des considérations de simplicité, il faut simplifier la matrice de passage entre l'élément 0 et 1.

De même, le point O_n est choisi de façon à annuler un maximum de paramètres. Un point O_{n+1} est associé à l'organe terminal du bras manipulateur, selon des critères opérationnels :

Typiquement, si le bras manipulateur est équipé d'une pince, le point O_{n+1} représentera à la fois celle à laquelle on attribue la plus grande généralité et la plus intuitive en pratique.

Pour placer les repères R_1 à R_{n-1} selon la règle des paramètres de Denavit-Hartenberg modifiés, il convient de suivre les règles suivantes, pour $i = 1, 2, 3, \dots, n$:

- placer les axes Z_i ($i=1 \dots n$) dans l'axe de rotation de chaque charnière ou dans l'axe de translation de chaque glissière.
- O_{i-1} est le pied de la perpendiculaire commune aux axes des liaisons L_{i-1} et L_i , situé sur L_{i-1} .

Si les axes des liaisons sont parallèles, il faut choisir arbitrairement une perpendiculaire commune.

Choisir chaque axe X_i perpendiculairement à Z_i et Z_{i+1} . Si ceux-ci se coupent, l'origine O_i sera ce point d'intersection et $X_i = Z_i \times Z_{i+1}$, sinon X_i sera placé sur la perpendiculaire commune à Z_i et Z_{i+1} est orienté suivant la règle du tire-bouchant. Si Z_i et Z_{i+1} sont confondues, X_i se place n'importe où dans un plan perpendiculaire à z_i et Z_{i+1} .

Si les axes des deux liaisons sont concourants ou confondus, l'orientation est arbitraire (règle avant, droite, haut) ;

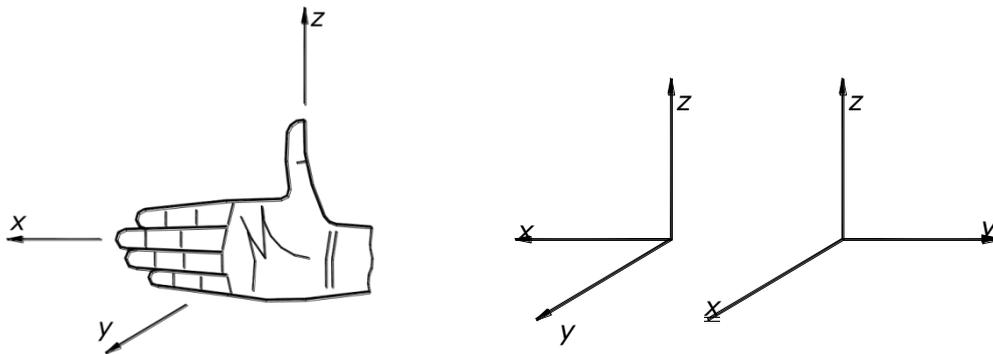


Figure 2.06 : Comment choisir l'axe des y [1.12].

y_{i-1} est tel que le repère R_{i-1} soit orthonormé direct comme le montre la figure précédente.

Les Paramètres de Denavit-Hartenberg modifiés :

Compte tenu de tout qui précède textuellement, on peut les définir comme suit : α_{i-1}

: appelé « torsion » angle algébrique entre z_{i-1} et z_i , mesure autour de x_{i-1} .

a_{i-1} : appelé « longueur », est la distance arithmétique de la perpendiculaire commune aux axes des liaisons L_{i-1} et L_i mesurée le long de x_{i-1} ; $-\theta_i$: angle algébrique entre x_{i-1} et x_i , mesure autour de z_i .

d_i : appelé « débattement », est la distance algébrique du point O_i à la perpendiculaire, mesurée le long de z_i .

Les paramètres de Denavit-Hartenberg modifiés permettent de déterminer de manière unique la configuration des corps et donc la géométrie du bras manipulateur. Pour visualiser plus facilement les paramètres et annuler certains paramètres constants il est souhaitable lorsqu'on modélise un bras manipulateur de présenter celui-ci dans une configuration particulière [1.12].

2.3.2 Notion de position

Comme il est illustré dans la [1.16], figure [2.07] pour repérer un point M dans l'espace, son vecteur position est représentée par les valeurs algébriques des projections sur une base orthonormée.

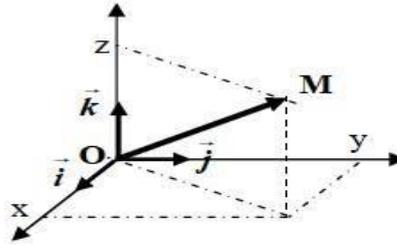


Figure 2.07 : Vecteur et ces positions [1.12].

Quant à l'orientation, elle ne concerne que les solides du fait qu'il leur faut trois coordonnées pour positionner leurs centres d'inertie et trois autres coordonnées pour les orienter dans l'espace.

L'orientation des différents axes est réalisée suivant trois directions bien déterminées par rapport au repère de la base figure [2.08].

Les six coordonnées sont nécessaires et suffisantes pour placer un objet dans l'espace.

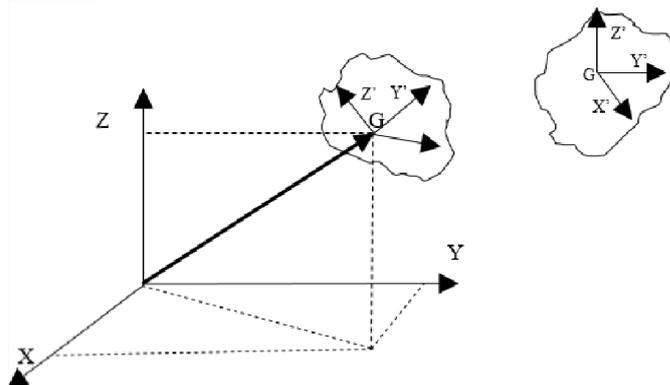


Figure 2.08 : Orientation d'un solide dans l'espace [1.12].

Le positionnement d'un point dans l'espace consiste à l'emplacement de celui-ci dans un espace caractérisé par ces coordonnées, dite une position par rapport à un référentiel spatial quelconque.

Il existe trois types de coordonnées pour repérer la position.

2.3.3 Coordonnées cartésiennes

C'est le référentiel le plus utilisé en robotique, car il est plus simple dans le cas de la mesure de la distance. Un point est défini par ces trois coordonnées cartésiennes qui ne sont rien d'autre que les projections du vecteur position sur la base ortho normale du référentiel en question.

2.3.4 Coordonnées cylindriques

Un point est repéré par ses coordonnées (ρ, φ, Θ) dites cylindrique illustrées sur la figure 2.9.

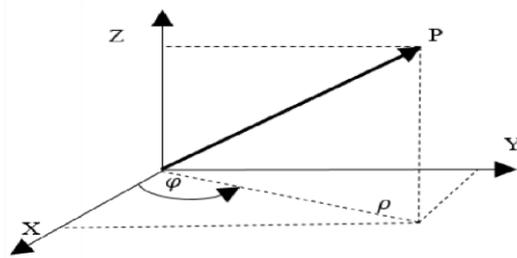


Fig.2.9. Système de coordonnées cylindriques [1.12].

Les coordonnées cylindriques sont liées aux coordonnées cartésiennes par les relations suivantes :

$$X = \rho \cos(\varphi)$$

$$Y = \rho \sin(\varphi) \tag{2.2}$$

$$z = z$$

Et inversement :

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\Phi = \arctang\left(\frac{x}{y}\right) \tag{2.3}$$

$$z = z \quad \text{Avec } \Phi \in [0, 2\pi]$$

2.3.5 Coordonnées sphériques

Un point est repéré par ses coordonnées (r, Θ, Φ) dites sphérique illustrées sur la figure suivante :

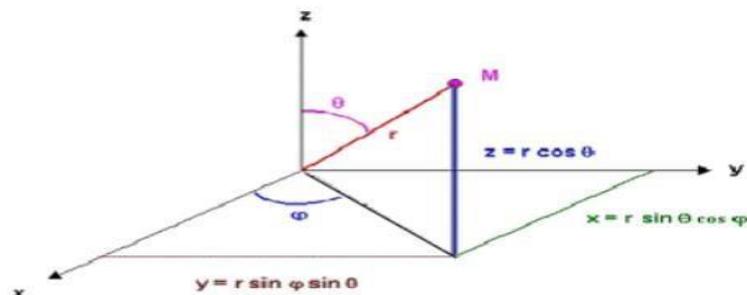


Figure 2.09 : Système de coordonnées sphérique [1.12].

Le passage entre coordonnées sphérique et cartésiennes se fait comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} x=r \sin (\Theta) \cos (\Phi) \\ y=r \sin (\Phi) \sin (\Theta) \\ (2.4) z= r \cos (\Theta) \text{ Et inversement :} \\ r=\sqrt{x^2+y^2+z^2} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Theta=\operatorname{atan}\left(z \sqrt{x^2+y^2}\right) \\ \Phi=\operatorname{atan} 2(x, y) \end{array} \right. \quad (2.5)$$

Avec $\left\{ \begin{array}{l} \Theta \in [0, \pi] \\ \Phi \in [0, \pi] \end{array} \right.$

2.3.6 Notion d'orientation

Contrairement à la position, l'orientation concerne tout le solide. La matrice du passage entre le repère terminale (repère liée à l'organe terminal) et celui de la base est l'une des représentations de l'orientation d'un solide. Cette matrice s'appelle « matrice d'orientation » notée souvent R. Dans notre cas, elle est d'ordre 3x3.

2.4 Modèle Géométrique direct

Le model géométrique direct permet d'obtenir l'attitude du repère attaché à l'organe terminal du bras manipulateur à partir des positions articulaires.

Ce modèle ne prend pas en compte la vitesse de déplacement ni les forces et les moments qui créent le mouvement. L'expression de la situation de l'organe terminal du bras manipulateur en fonction de sa configuration est obtenue à l'aide de l'équation suivante :

$$X=f(q) \quad (2.6)$$

Où x est le vecteur des coordonnées opérationnelles exprimées dans le repère de référence R_0 et q les variables articulaires.

Dans le cas d'une chaîne cinématique simple ouverte, il peut être représenté par la matrice T qui se calcule par :

$$T_{0, n}=T_{0,1}\left(q_1\right) * T_{0,2}\left(q_2\right) * \dots * T_{j-1, j}\left(q_j\right) \quad (2.6)$$

La matrice $T_{0,1}$ représente la position et l'orientation, elle est exprimée dans le repère de référence R_0 de l'organe terminal (effecteur) du robot [1.12].

2.5 Modèle géométrique inverse

On a vu que le modèle géométrique direct d'un robot a permis de calculer les coordonnées opérationnelles donnant la situation de l'organe terminal en fonction des coordonnées articulaires. Le problème inverse consiste à calculer les coordonnées articulaires correspondant à une situation donnée de l'organe terminale.

Le modèle géométrique inverse permet de calculer la position de chaque liaison du robot en fonction de la position et de l'orientation de l'organe terminale [1.12].

Celle-ci s'obtient à l'aide de l'équation suivante :

$$q = c^{96}(x) \quad (2.7)$$

Où x est le vecteur des coordonnées opérationnelles exprimées dans le repère de référence Z_3 et q les variables articulaires.

Une démarche analytique simple permet de déterminer le modèle géométrique inverse du BM1 :

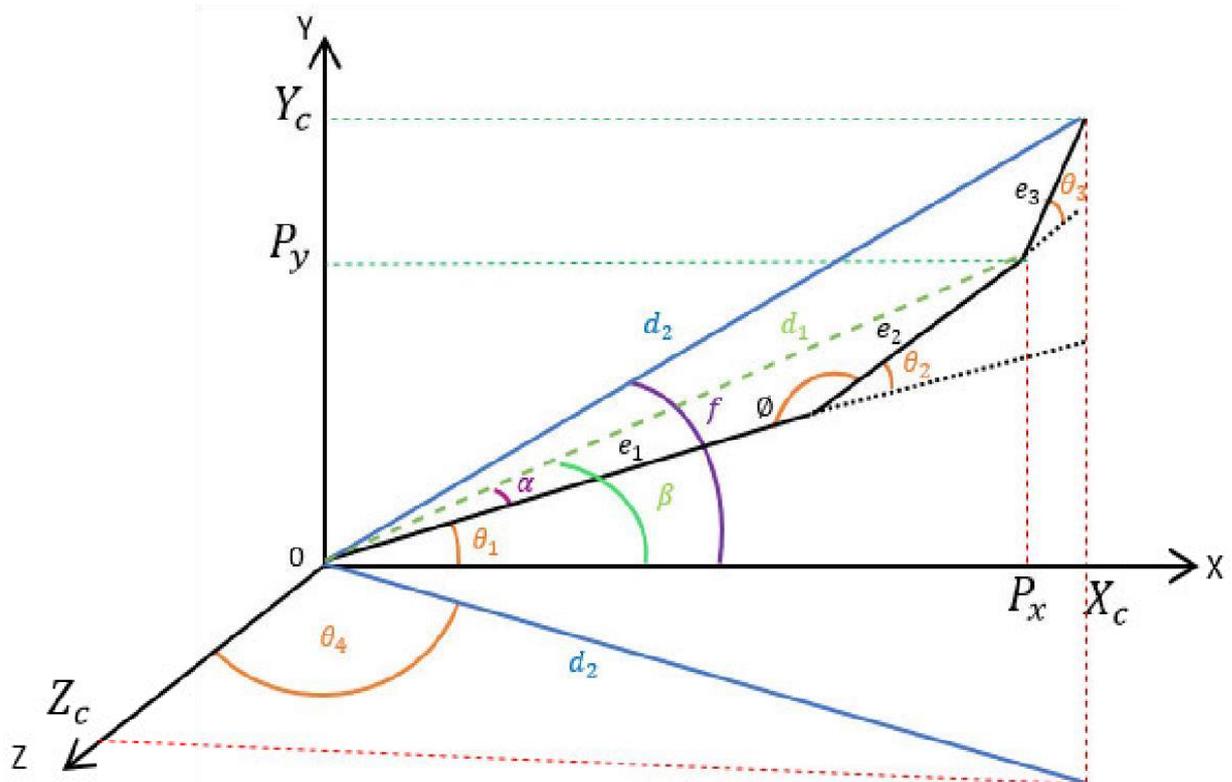


Figure 2.10 : Les vecteurs des variables articulaires [1.12]

2.6 Performances

Vitesse maximale, c'est la vitesse de translation ou de rotation de chaque axe du robot. Souvent les constructeurs donnent une vitesse maximale de l'outil ou l'organe terminal. L'accélération maximale, elle dépend de l'inertie, donc de la position du robot. Pour chaque axe, cette accélération est donnée dans la configuration la plus défavorable (inertie maximale, charge maximale).

Charge utile, c'est la charge qui garantit une durée de vie la plus longue possible. Donc, c'est la charge maximale qui peut porter le robot sans perturber ni la répétabilité ni les performances dynamiques du robot. Cette charge utile est nettement inférieure à la charge maximale que peut porter le robot et directement dépendante à des actionneurs. Suivant les besoins de l'utilisateur et la situation auquel il est mis, les mouvements du robot peuvent être décrits dans quatre systèmes de coordonnées, et qui sont les suivants :

- **Système des coordonnées cartésien** (world coordinate system) : les mouvements du robot peuvent se faire parallèlement à chaque axe.
- **Système des coordonnées outil** (TOOL COORDINATE SYSTEME) : le déplacement du robot se fait parallèlement aux axes du poignet.
- **Système des coordonnées articulé** (articulated coordinate system) : chaque axe peut tourner indépendamment des autres axes, la rotation de chaque articulation se fait indépendamment des autres.
- **Système de coordonnées utilisateur** (work coordinate system) : le robot se met en mouvement dans un système de coordonnées définies par l'utilisateur [1.19].

2.7 Modèle de connaissance sur le moteur à courant continu

D'un point de vue électrique, le moteur à courant continu peut être modélisé comme un système dont l'entrée est la tension de commande de l'induit $u(t)$ et la sortie la vitesse de rotation de l'arbre moteur $\omega_m(t)$. L'induit est modélisé par une résistance en série avec une inductance et une force contre électromotrice [1.18]. On donne ci-dessous le modèle de connaissance du moteur courant continu :

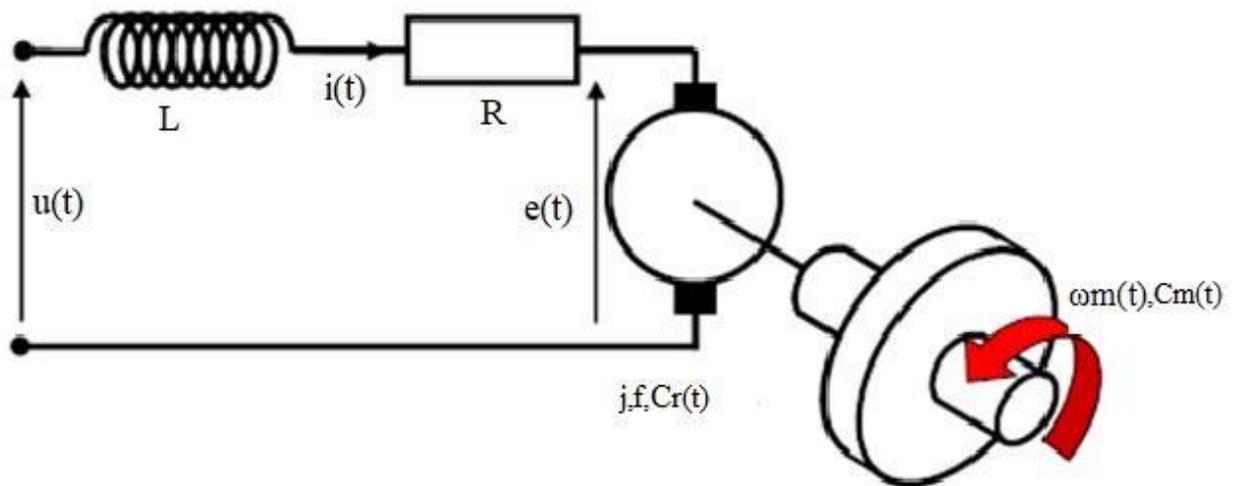


Figure 2.11 : Un moteur à courant continu [1.18].

D'après la figure 2.11, on obtient les formules suivantes

$$u(t) = e(t) + R.i(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Loi d'Ohm

$$e(t) = K_e.\omega_m(t) \quad (2.9)$$

Equation de l'électromagnétisme

$$J. \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f.\omega_m(t) \quad (2.10)$$

Equation de la dynamique de l'arbre moteur

$$C_m(t) = K_t. i(t) \quad (2.11)$$

Equation de

l'électromagnétisme Avec : $u(t)$

= Tension du moteur [V]

$e(t)$ = Force contre électromotrice du moteur [V] $i(t)$

= Intensité dans le moteur [A]

$C_m(t)$ = Couple exercé par le moteur [N.m]

$C_r(t)$ = Couple résistant sur l'axe moteur [N.m] $\omega_m(t)$

= Vitesse angulaire du moteur [rad/s]

R = Valeur de la résistance [Ω]

L = Valeur de l'inductance [H]

K_e = Coefficient de la force contre électromotrice [V/(rad/s)]

J = Inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur [kg.m^2]

$f = 0,01$ = Paramètre de « frottement fluide » total [N.m.s]

K_t = Constante de couple [N.m/A]

2.8 Etude théorique des moteurs électriques à courant alternatif

2.8.1 Structure des moteurs électriques

Les moteurs électriques se composent principalement de deux parties. D'un côté nous retrouvons une partie fixe que l'on nomme stator et une partie tournante que l'on nomme rotor. La composition du rotor varie en fonction du type de moteur. Cependant, la structure du stator est la même pour les deux [1.20].

Le stator : Le Théorème de Ferraris nous a permis de montrer qu'il était possible de créer un champ tournant à partir de bobines. Ainsi, le stator des moteurs électriques a pour rôle de créer un champ magnétique tournant.

Le rotor : Cette partie peut prendre deux formes. Si le moteur est dit asynchrone, le rotor le plus utilisé est un rotor en cage d'écureuil : il est composé de deux anneaux conducteurs reliés par des bagues métalliques. Si le moteur est synchrone, le rotor est un aimant permanent ou un électroaimant alimenté par un courant continu [1.20].

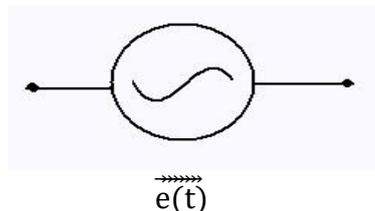
2.8.2 Eléments constitutifs d'un circuit à courant alternatif

a. Source de tension (Générateur)

Une source de tension alternative sinusoïdale, dont la F.é.m. a pour valeur efficace E en Volts, de pulsation ω (rad/s) ou de Fréquence f (en Hertz), dont la phase à l'origine est φ (rad), s'écrit en forme temporelle :

$$e(t) = E\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.12)$$

Cette source peut être symbolisée par :



b. Récepteurs

Impédance complexe d'un circuit électrique

Si on branche aux bornes d'une source de tension $e(t)$ représentée par l'expression complexe

$$\bar{E} = E. e^{j\varphi} \quad (2.13)$$

un récepteur à courant alternatif, ce dernier va être parcouru par une intensité sinusoïdale de même fréquence que la source, dont l'expression instantanée peut être mise sous la forme :

$$i(t) = I \sqrt{2} \sin(\omega t + \alpha) \quad (2.14) \text{ ou}$$

avec la notation symbolique :

$$\bar{I} = I e^{j\alpha} \quad (2.15)$$

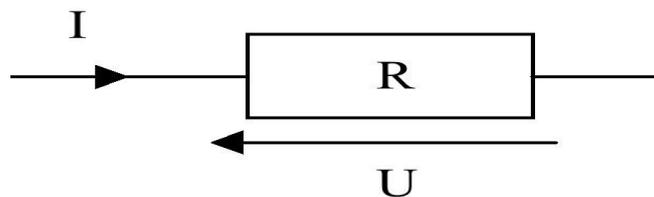
On appelle impédance complexe du circuit le nombre complexe \bar{Z} défini par :

$$\bar{Z} = \frac{\bar{E}}{\bar{I}} = \frac{E}{I e^{j(\varphi - \alpha)}} \quad (2.16)$$

Le module $Z = \frac{E}{I}$ (en Ohms) s'appelle impédance du circuit (2.17)

Le nombre complexe $\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}}$ s'appelle admittance complexe du circuit (2.18) La

résistance pure : R

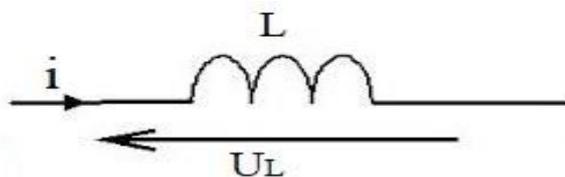


$$u_R(t) = U \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.19)$$

$$u_R = R \cdot i_R \quad (2.20)$$

$$\Rightarrow i_R(t) = \frac{u_R}{R} = \frac{U}{R} \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.21)$$

L'inductance de SELF "L"



On suppose négligeable la résistance du bobinage de la self.

Soit $i_L(t)$ l'intensité instantanée qui parcourt la self :

$$i_L(t) = I_L \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.22)$$

La tension aux bornes de la self s'exprime par l'équation différentielle suivante :

$$u_L(t) = L \frac{di_L}{dt} = L \omega I_L \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \quad (2.23)$$

En valeur efficace : $U_L = L\omega I_L \Rightarrow I_L = \frac{U_L}{L\omega} = \frac{U_L}{X_L}$ (2.24)

$X_L = L\omega$ s'appelle réactance inductive de la bobine ; (unité : Ohms : Ω)

2.9 Description de la partie mécanique du convoyeur

2.9.1 Moteur

Un moteur à courant alternatif 220v qui assure la mise en marche de la bande. Ce moteur contient une petite poulie sur le rotor pour le placement d'une courroie qui relie à l'axe de convoyeur avec un autre poulie ou gorge.

2.9.2 Tambour

Ceci contient d'un axe, un tube et deux roulements. Ce dernier facilite la rotation du tambour.

2.9.3 Calcul de nombre de tour du convoyeur

$$V = \omega \cdot R = \frac{\pi N}{30} = \frac{d}{2} \quad (2.25)$$

Avec

V : vitesse du convoyeur $V = 2\text{m/s}$

ω : vitesse angulaire rd/s d : diamètre du tambour du convoyeur

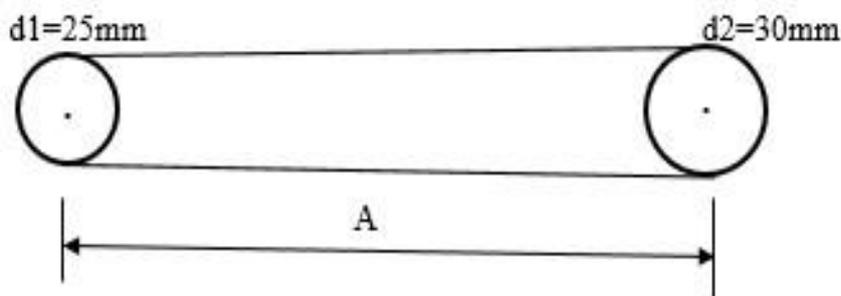
N : Nombre de tour

$$N = \frac{V \cdot 60}{\pi d}$$

$$N = \frac{2 \cdot 60}{\pi \cdot 0.4} = 95.50 \text{ tr/min}$$

□ Calcul de la longueur de la bande du convoyeur

La longueur de la bande du convoyeur est égale à :



$$l = 2A + (\pi/2) \cdot (d1 + d2) + [(d2 - d1) / 4A] \quad l = 2 \cdot 0.6 (\pi/2)$$

$$* (0.025 + 0.030) + [(0.030 - 0.025) / 4 \cdot 0.6] = 0.104\text{m}$$

Avec A : est l'entre axe

d_1 et d_2 : diamètres des tambours menant et menée

Conclusion

La modélisation de ce robot série à 4 ddl suit la démarche suivante : faire la description mécanique des différents organes constituant le robot, représenter le comportement de ce robot sous la forme d'un modèle géométriques directe et inverse qui permettent d'exprimer la situation de l'organe terminal. On recherche toujours le modèle le plus simple qui permet d'expliquer, de manière satisfaisante, le comportement du processus dans son domaine d'application et dans ce contexte nous avons utilisé le modèle géométrique inverse pour élaborer la commande automatique de notre bras manipulateur. Ce chapitre nous montre aussi la description mécanique du convoyeur, leur calcul de vitesse, le nombre de tour et la longueur de la bande.

CHAPITRE 3 CONCEPTION DU SYSTEME

Généralement, la fonction d'un robot manipulateur est de situer dans l'espace son organe terminal, la commande d'un bras manipulateur nécessite la commande de ses articulations une à une, afin de réaliser une tâche. Dans ce chapitre, on cherche à commander le bras manipulateur BM en position et de réaliser un convoyeur à bande.

3.1 Hardware

La carte arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne. Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine. Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions.

3.1.1 Arduino méga 2560

L'arduino Méga est une carte électronique basée sur le microcontrôleur ATmega2560. Elle dispose de 54 broches numériques d'entrée/sortie (dont 14 peuvent être utilisés comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), un oscillateur cristal de 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation, et un bouton de remise à zéro. Elle contient tout le nécessaire pour soutenir le microcontrôleur. Comme vous pouvez le constater à l'examen de sa photo visible.



Figure 3.01 : Arduino MEGA [1.14].

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de l'Arduino que nous avons utilisés.

Tableau 3.01 : Synthèse des caractéristiques d'Arduino [3.14].

Microcontrôleur	ATmega2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	54 (dont 14 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	16 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5v)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3v	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5v	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire programme Flash	256 KB dont 8 KB sont utilisées par le boot loader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	8 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	4 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz
Longueur	101.52 mm
Largeur	53.3 mm
Poids	37 g

3.1.2 Actionneurs (servomoteurs)

Un servomoteur est tout simplement, un moteur à courant continu possède un circuit électronique interne au moteur. Ils sont pilotés par un fil de commande et alimentés par deux autres fils, le premier est relié à l'alimentation positive +5 ou +6 V selon le servomoteur, le deuxième est relié à la masse (GND). Le signal de commande est quant à lui de type modulation de largeur d'impulsion (PWM). En modifiant le rapport cyclique de ce signal, on indique au moteur quelle est la position désirée dans une plage de positions possibles, généralement [0-180°] pour notre servo MG995 et [0 -90] pour le servo MG90. La fréquence du signal à modulation de largeur d'impulsion est habituellement de l'ordre de 50 Hz (30 Hz pour certains modèles) avec des impulsions durant de 1 à 2 ms comme illustre la figure 3.02, page 37. Certaines plages de mouvement plus importantes peuvent être obtenues en changeant les engrenages du servomoteur [1.13].

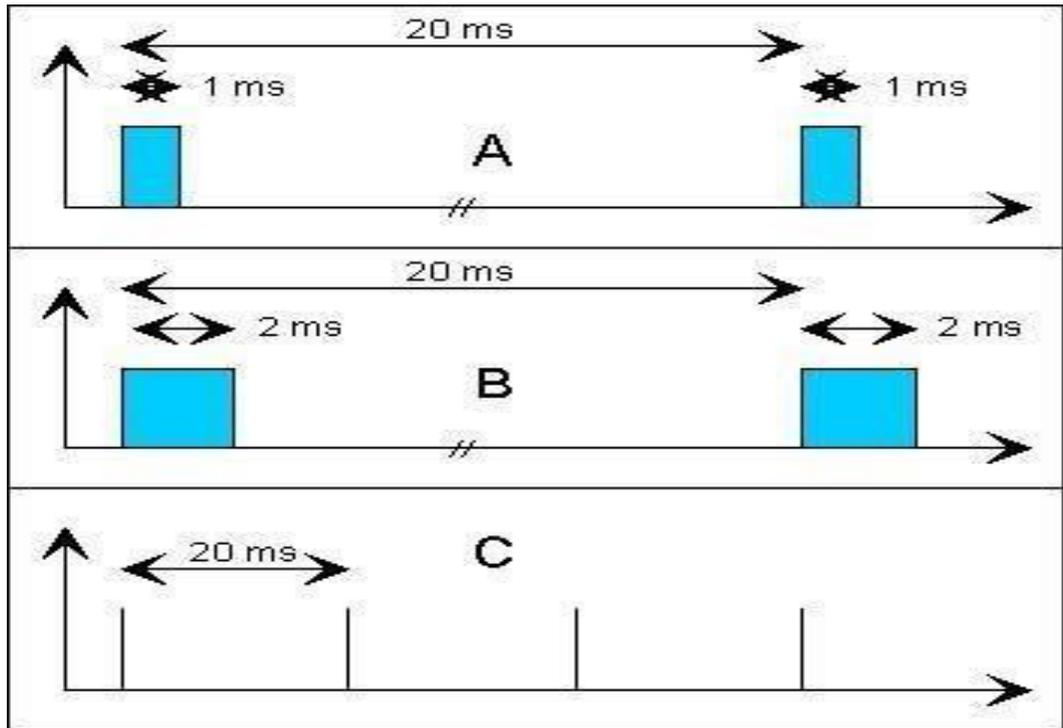


Figure 3.02 : Exemple de signal en position pour un servomoteur [1.13]

Dans notre réalisation on a utilisé deux types différents de servomoteurs illustrés



Servomoteur du type MG90

servomoteur du typeMG995

Figure 3.03 : Servomoteur [1.13]

3.1.3 Paramètres techniques des servomoteurs

Le tableau illustre les paramètres des servomoteurs qu'on a utilisés.

Tableau 3.02 : Paramètres techniques des servomoteurs utilisés [1.21], [1.22].

Spécifications \ Référence	MG995	MG90
Poids	55g	9g
Couple d'arrêt	8.5 kg cm(4.8V) 10kg cm(6V)	1.8kg cm
Tension de fonctionnement	4.8V à 7.2V	4.8V (~5V)
Vitesse	0.2s/60°(4.8V),0.16s/60°(6V)	0.1s/60°
Rotation d'angle	180°	90°

3.2 Variété de servomoteur

Il existe une vaste gamme de servomoteurs : des gros modèles industriels de plusieurs kilogrammes à courant alternatif, avec des boîtiers et carters d'engrenages en métal, jusqu'aux minuscules servomoteurs en plastique de quelques grammes à courant continu que l'on retrouve en modélisme dans les avions, les bateaux, les voitures et les hélicoptères modèles réduits.

En modélisme Les plus courants et les moins chers ont une course limitée à 90° ou 120°. Un modèle de base par exemple a pour dimensions 40 x 20 x 36 mm, il peut lever 3kg/cm, Il existe aussi des servomoteurs qui font 180° ou même à rotation continue (360°) [1.13].

3.2.1 Servo MG995 métal Tower pro

Ce servomoteur est le plus haut de la gamme standard Tower Pro, il est équipé de pignons métaux et deux roulements lui assurant une précision et une longévité sans égale. Le couple est exceptionnel (jusqu'à 13kg/cm).

Il est particulièrement conseillé pour les voitures, avions voltige, hélico classe 50, ainsi que grand planeur.

- Type : Tower Pro MG995
- Dimensions : 40 x 20 x 36,5 mm

- Poids : 60g
- Pignons tout métal
- Double roulement
- Moteur coreless
- Vitesse : 0.16 sec/60° sous 4.8V - 0.13 sec/60° sous 6.0V
- Couple : 11Kg/cm sous 4.8V - 13Kg/cm sous 6.0V
- Tension : 4.8V - 6V
- Prise type Grouper UNI

3.2.2 Fils de connexion

Les fils de connexion Arduino avec son environnement.

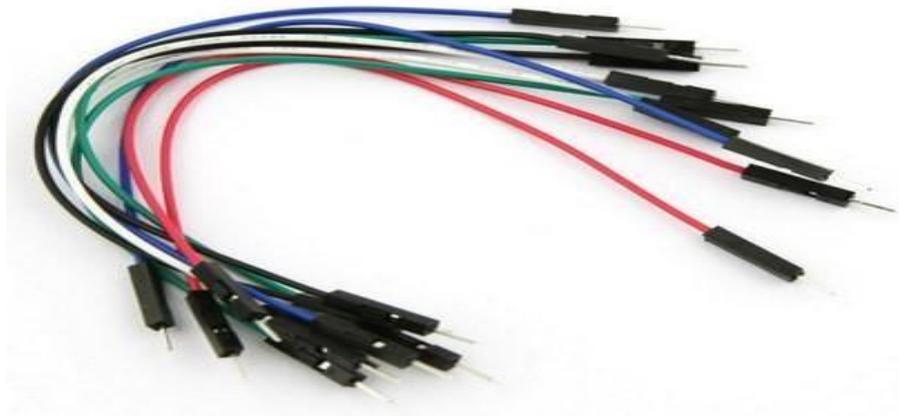


Figure 3.04 : Fils de connexion

3.3 Software

3.3.1 Présentation du logiciel

Logiciel de programmation Arduino

L'environnement de programmation Arduino (IDE en anglais) est une application écrite en Java. L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte. Le langage de programmation de l'Arduino étant dérivé du C et de C++, il respecte les règles de syntaxe propres à ces langages qui sont, où demeurant, relativement simple.

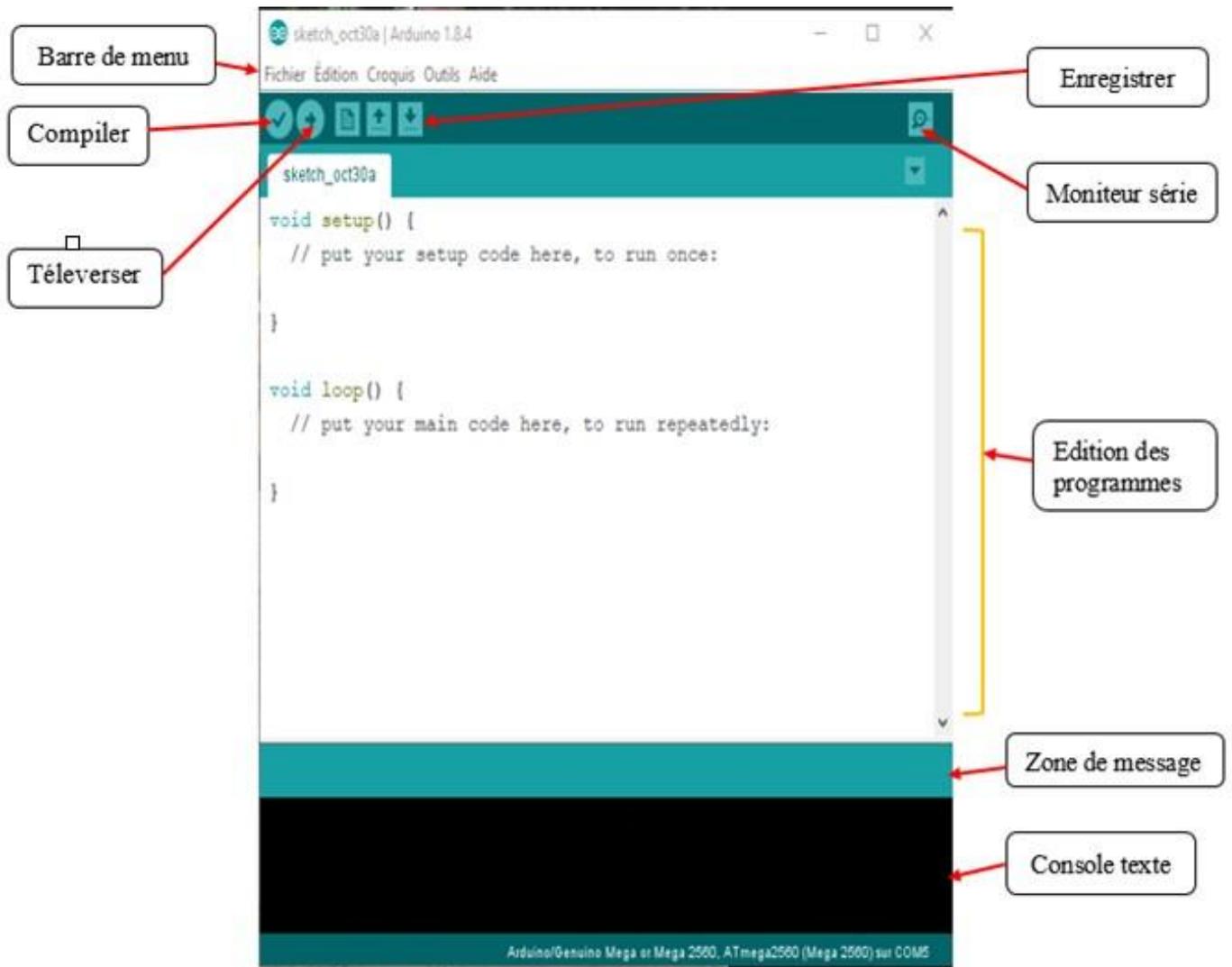


Figure 3.05 : Interface d'Arduino.

Conditions d'installation du système

Aucun obstacle à l'intérieur de champs du travail. Le contrôleur et le robot ne doivent pas interférer les uns aux autres. Le robot doit être visible en cas de mouvement. Éviter de mettre le robot dans un endroit humide et poussiéreux. La connexion entre un robot et un Contrôleur doit être effectuée après vérification de l'étiquette de câble. Vérifier l'état de la connexion du câble interne avant de l'allumer. Vérifier l'alimentation électrique du Contrôleur.

3.4 CONVOYEUR

On varie la vitesse de rotation du moteur pour avoir la proportion avec le bras manipulateur à l'aide d'un gradateur que nous avons réalisé. Ceci est constitué d'un potentiomètre 500K Ω , un condensateur 100nF, un diac 32V, deux résistances 3.3k Ω et 47 Ω .

3.4.1 Gradateur

Un gradateur est un dispositif électrique qui permet de contrôler la puissance alternative fournie à une charge résistive ou inductive. Il est constitué soit de deux thyristors identiques montés en parallèle inverse, soit d'un triac lorsque la puissance contrôlée est très faible. Les gradateurs sont utilisés pour contrôler la puissance alternative monophasée ou triphasée.

3.4.2 Schéma électrique du gradateur réalisé

La figure ci-après montre le schéma électrique d'un gradateur :

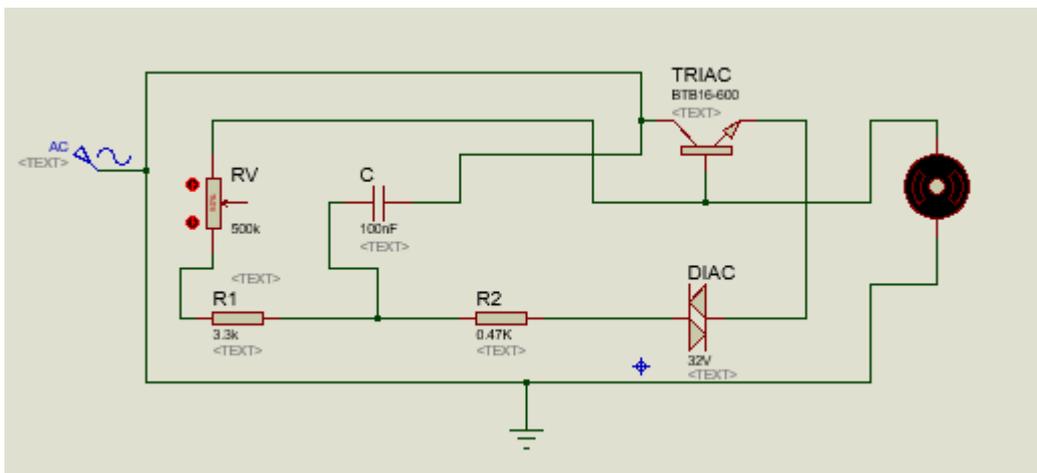


Figure 3.06 : Gradateur de vitesse

3.4.3 Fonction des composants

a) **Potentiomètre** : le potentiomètre est un composant passif assimilable à une résistance variable, qui permet à un utilisateur d'ajuster un niveau électrique (tension ou courant) afin de contrôler avec finesse le fonctionnement d'un circuit électronique sans avoir à changer de composant. La précision et l'étendue des valeurs que peut prendre un potentiomètre sont très différents d'un modèle à l'autre. Un autre paramètre fréquent est le mode de changement des valeurs : linéaire proportionnel à la distance ou à l'angle modifié ou logarithmique (avec une variation exponentielle à la distance ou l'angle modifié).

b) Condensateur : un condensateur est formé par deux surfaces métalliques en regard, séparées par un isolant ou diélectrique. Les surfaces métalliques en regard sont appelées les armatures du condensateur.

Schéma pour le condensateur dans un circuit électrique :

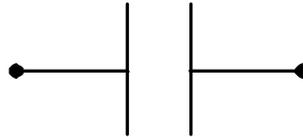


Figure 3.07 : Symbole d'un condensateur

c) Diac : un diac (origine en anglais Diode for Alternative Current) est un composant électronique à amorçage (conduction) par la tension à ses bornes. Bien qu'il ressemble physiquement à une diode zener, sa constitution et son fonctionnement sont très différents. Sa principale application est la commande d'allumage de triacs. Le diac est composé comme un thyristor d'une triple jonction PNP (la gâchette est absente). Les extrémités sont plus fortement dopées. L'amorçage se produit lorsque les zones de diffusion des jonctions extrêmes tendent à se rencontrer sous l'effet de l'application d'une différence de potentiel.

d) Résistance : La résistance est un composant dont le rôle est de freiner plus ou moins le passage du courant électrique qui la traverse. Il s'agit d'un des composants les plus utilisés en électronique.

Une résistance possède les caractéristiques principales suivantes :

- Valeur
- Puissance dissipable
- Tolérance (précision)
- Structure (matière)

e) Résistance métallique haute stabilité (couleur du corps = bleu)

Ce type de résistance présente des caractéristiques professionnelles, qui varient peu en fonction du temps et de la température. On l'utilise dans les appareils professionnels qui doivent apporter précision et fiabilité durant de longues années (appareils de mesure ou filtres, par exemple).



Figure 3.08 : Résistance métallique [1.22].

f) Résistance au carbone (couleur du corps = marron)

La résistance carbone est bon marché, mais elle est aussi de qualité inférieure aux résistances métallique. On les utilise partout où la stabilité et le bruit n'ont pas ou peu d'importance (limitation de courant dans une led ou étages d'amplification haut niveau, par exemple). C'est le type de résistance principalement utilisée dans les appareils électroniques grand-public. Elle peut également être utilisée en haute fréquence, quand on cherche une résistance non inductive.



Figure 3.09 : Résistance au carbone [1.23].

3.5 Fonctionnement du gradateur

Le potentiomètre, en associant avec le condensateur C permet de déterminer le retard d'impulsion de déclenchement qui parviendra au triac à travers du diac 32V. Imaginer simplement que le potentiomètre et C constituent un réseau de charge, dans lequel le condensateur C se charge au travers d'une résistance R. Si la résistance de charge R a une valeur élevée, le condensateur C mettra plus de temps pour se charger que si cette résistance a une valeur faible. Le diac peut quant à lui être considéré comme un interrupteur qui se ferme quand la tension à ses bornes dépasse de 32V. Si sur la broche droite c'est à dire celle présente sur le condensateur C atteindra 32V. La tension de charge qui arrive sur C est alternative, puisqu'elle provient du secteur 230V. Il est ainsi aisé d'imaginer que le processus de charge et de conduction du diac va répéter au rythme de la fréquence du secteur, soit 50 fois par seconde.

Bande 63 cm, quatre roulements de référence 6201z, deux axes, deux tambours et un support de glissement.

3.6 Éléments mobiles de transmission d'énergie

Fonction : produire et transmettre l'énergie nécessaire au tambour d'entraînement afin de mouvoir ou de retenir la courroie. Plusieurs configurations sont utilisées.

Le système de transmission à haute puissance qui comprend :

6a1 moteur

6a2 accouplement moteur réducteur

6a3 réducteur

6a4 accouplement réducteur tambour d'entraînement

4a tambour d'entraînement

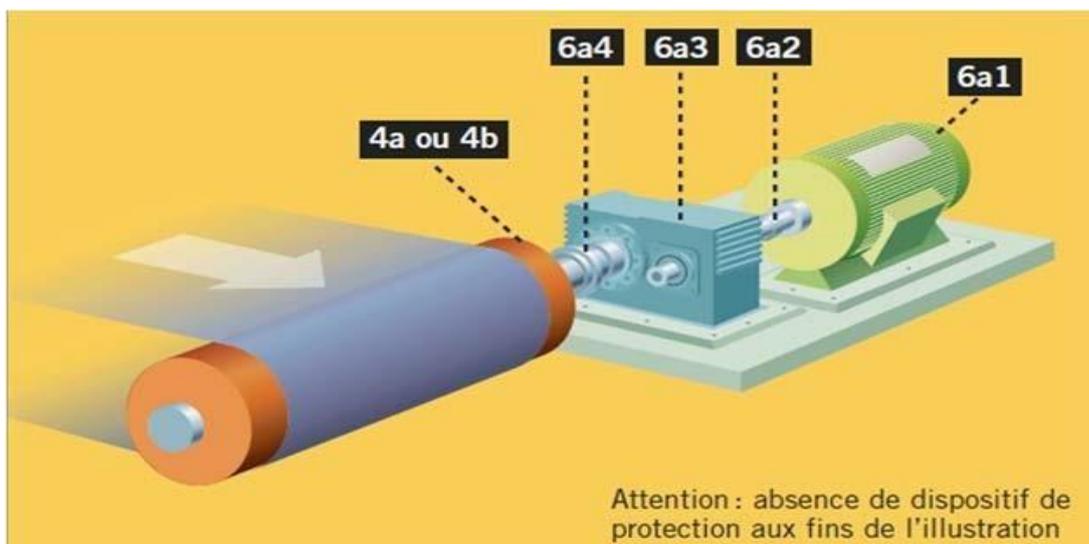


Figure 3.10 : Système de transmission à haute puissance [1.11]

□ Système de transmission à faible puissance qui comprend :

6b1 moteur

6b2 poulie motrice en « V »

6b3 courroies en « V »

6b4 poulie en « V » mue

6b5 réducteur

6b6 pignon

6b7 chaîne à rouleaux

6b8 roue dentée

4a tambour d'entraînement

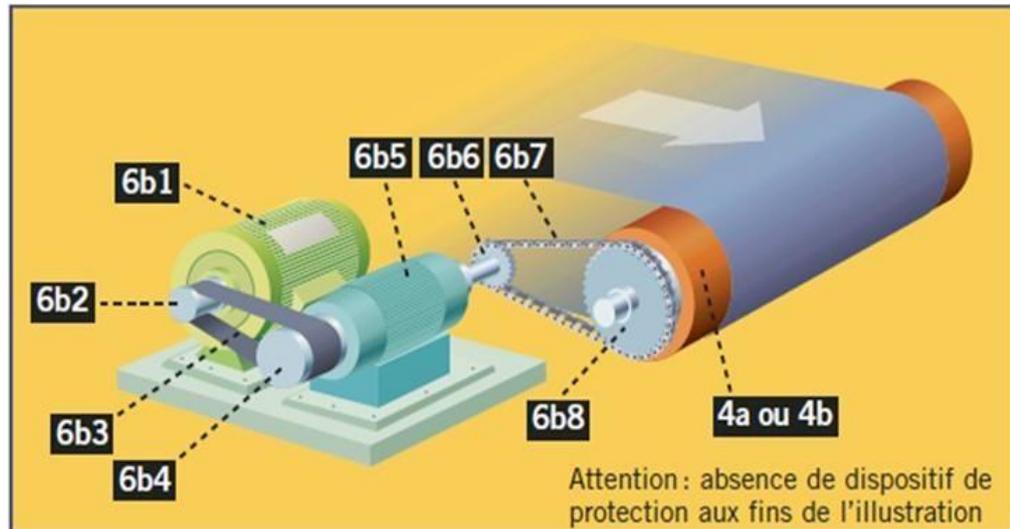


Figure 3.11 : Système de transmission à faible puissance [1.11]

D'autres configurations sont aussi possibles (notamment l'utilisation de coupleurs ou de moteurs hydrauliques). Un frein peut être intégré aux éléments mobiles de transmission d'énergie si c'est nécessaire lorsque le convoyeur est en montée ou en descente.

Dans notre projet, on utilise le système de transmission à faible puissance.



Figure 3.12 : Convoyeur à bande réalisé

Dans ce montage, il n'y a pas de réducteur, le moteur et le convoyeur se relie par une petite courroie dentée comme montre la figure 3.12 ci-dessus.

3.7 Bras manipulateur et convoyeur ensemble

La figure 3.13 suivante montre le projet réalisé :

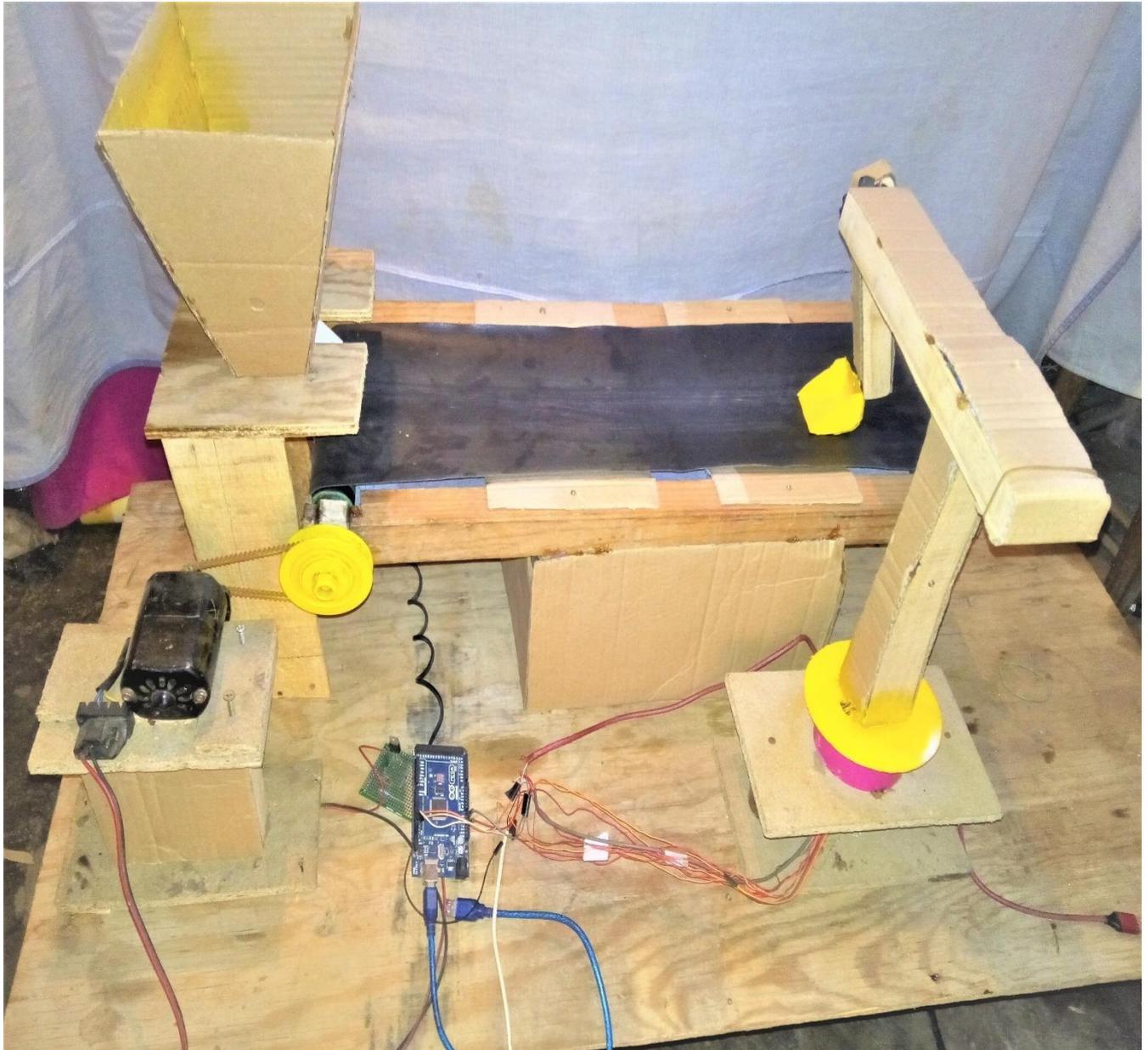


Figure 3.13 : BM et convoyeur assemblé

3.8 Organigramme du bras manipulateur réalisé

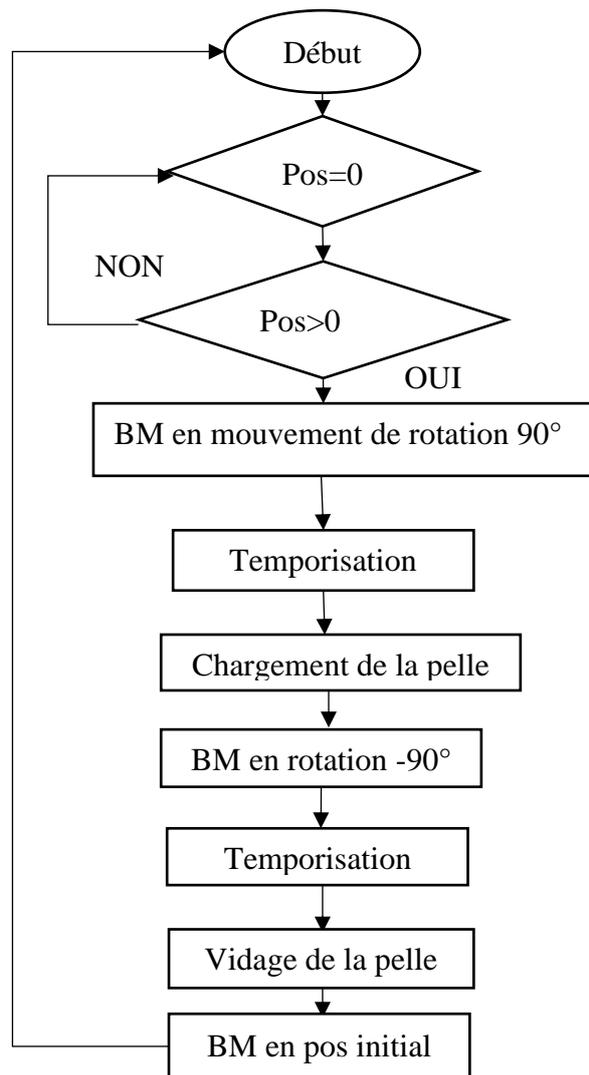
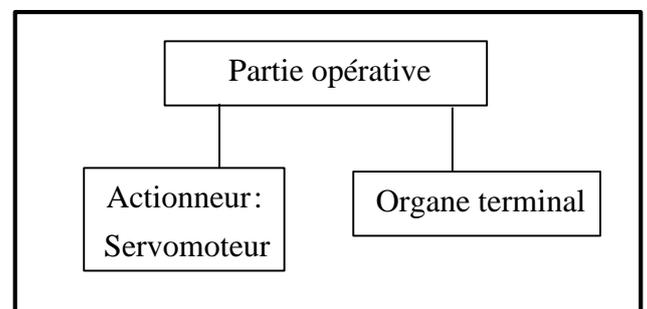
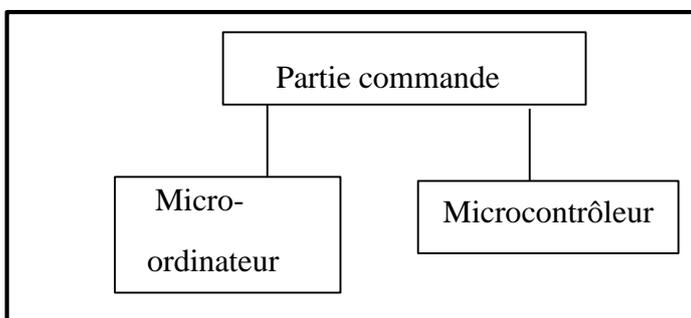


Figure 3.14 : Organigramme du BM

3.8.1 Différente partie du BM (montage-démontage)



Le bras manipulateur se compose de deux parties :

- Les composantes commandent : permettent de guider le BM grâce à sa logique programmée.
- Les composantes mécaniques : permettent d'actionner le BM selon les servomoteurs

3.9 Etude socio-économique

Le tableau ci-dessous résume les prix de revient des composants utilisés et les différentes charges dépensées pour la réalisation de projet.

Tableau 3.03 : Étude socio-économique pour le mini-projet (maquette)

Nom	Caractéristique	Prix unitaire(Ar)	Nombre	Prix (Ar)	Lieu
Servomoteur	MG995	30000	3	90000	Tsena express
Servomoteur	MG90	15000	1	15000	Tsena express
Fil de connexion	Conducteur		12	7200	Tsena express
Arduino mega	MG560	75000	1	75000	Tsena express
Moteur	MAC 220v 50hz	45000	1	45000	pièces de récupération
Bande	Flexible	3000	1	3000	pièces de récupération
Rouleau	Plastique	1000	2	2000	pièces de récupération
Roulement	6201z	2000	4	8000	Passion Motors
Planche	Bois fine(segment)	1000	6	6000	pièces de récupération
Cadre	Bois à grand épaisseur	1500	2	3000	pièces de récupération
Axe de rotation	Métal	2000	2	4000	pièces de récupération
Total				253000	

En grande échelle, tous les matériels doivent être plus solide pour faire la conception du projet.

Tableau 3.04 : prix de quelque matériel en grande échelle

Nom	Caractéristique	Prix unitaire (AR)	Nombre	Prix (AR)	Lieu
Moteur asynchrone	Moteur triphasé à courant alternatif 63kW (400 V, 140 A, 50 Hz, 1500 tr/min	4150000	1	4150000	Internet
Moteur pas à pas	Moteur à courant continu 12V.	150000	4	600000	Tsena express
Arduino Mega	MG560	75000	1	75000	Tsena express
Corps du BM	Fer corneur 0.5m, 3mm d'épaisseur	5000	4	20000	Pièce de récupération
Bati du BM	Fer plat 0.4m ² , 3mm d'épaisseur	15000	1	15000	Pièce de récupération
Total : 4320000					

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé les différents aspects (hardware et software) relatifs à la réalisation de notre projet. On a étudié également les différents composants de notre gradateur de vitesse ainsi que la commande du bras manipulateur.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le travail présenté l'utilisation des robots industriels et des convoyeurs est actuellement un atout pour les industries. Notre travail a été basé sur le principe de fonctionnement d'un bras manipulateur à 4 articulations et d'un convoyeur à bande. L'étude a été faite sous différents angles tels que sur le plan mécanique, l'électronique, l'automatique et ainsi que sur le domaine de la programmation.

Ce projet a été abordé sur quatre fronts tels que la réalisation mécanique du bras manipulateur, la réalisation d'un gradateur de vitesse, la réalisation du convoyeur et la programmation. Sur le plan théorique, nous avons abordé la modélisation en appliquant la convention de DENAVIT-HARTENBER et DHM pour le calcul du modèle géométrique direct.

Nous avons utilisé le logiciel Arduino pour faire la programmation. L'objectif est atteint pour la conception d'un bras manipulateur d'échantillonnage des matières à travers un convoyeur à bande pour contrôler la qualité des mélanges au laboratoire afin d'améliorer quelque composant avant d'arriver au produit fini. Il faut signaler que la partie la mécanique de la réalisation de notre bras était le principal problème rencontré dans ce projet. Le prototype réalisé peut servir comme base pour des travaux futurs qui seront destinés à l'amélioration du robot et de la fonctionnalité de ses diverses parties. Notre travail est tout de même susceptible d'être amélioré. Nous proposons en perspective l'utilisation des matériaux plus rigide pour la réalisation du bras, l'étude plus détaillée sur la modélisation cinématique, dynamique directe et inverse, et l'utilisation d'une commande sans fil (wifi, Bluetooth, radio fréquence...). On imagine aussi de démarrer automatiquement le moteur du convoyeur avec le microcontrôleur et de fonctionner à une vitesse plus constante. Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques, d'améliorer d'autre niveau et aussi de toucher le côté pratique grâce à la réalisation.

ANNEXES

Annexe 1 : extrait de programme

```
include <Servo.h>
Servo servo1 ; //déclaration du servo
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;
int pos = 0 ; // initialisation position de servo
void setup ()
{
servo1.attach(8); // configuration pins
servo2.attach(9);
servo3.attach(10);
servo4.attach(11);
} void loop()
{ for (pos = 30; pos >= 0; pos -= 1) //boucle FOR pour le mouvement du BM
{ servo3.write(pos);
Delay (5) ;
}

for (pos = 0; pos <= 90; pos += 1)
{ servo1.write(pos);
delay(10); }
delay (500); //durée de mouvement
for (pos = 30; pos >= 0; pos -= 1)
{ servo2.write(pos); delay(15); } //boucle FOR pour le mouvement du BM

delay(300);
for (pos = 0; pos <= 80; pos += 1)
{ servo3.write(pos);
delay(5); }
delay(500); for (pos = 0; pos <= 15; pos += 1)
{ }
delay(3000); for (pos = 90; pos >=
12; pos -= 1)
{
servo1.write(pos);
delay(10);
}
```

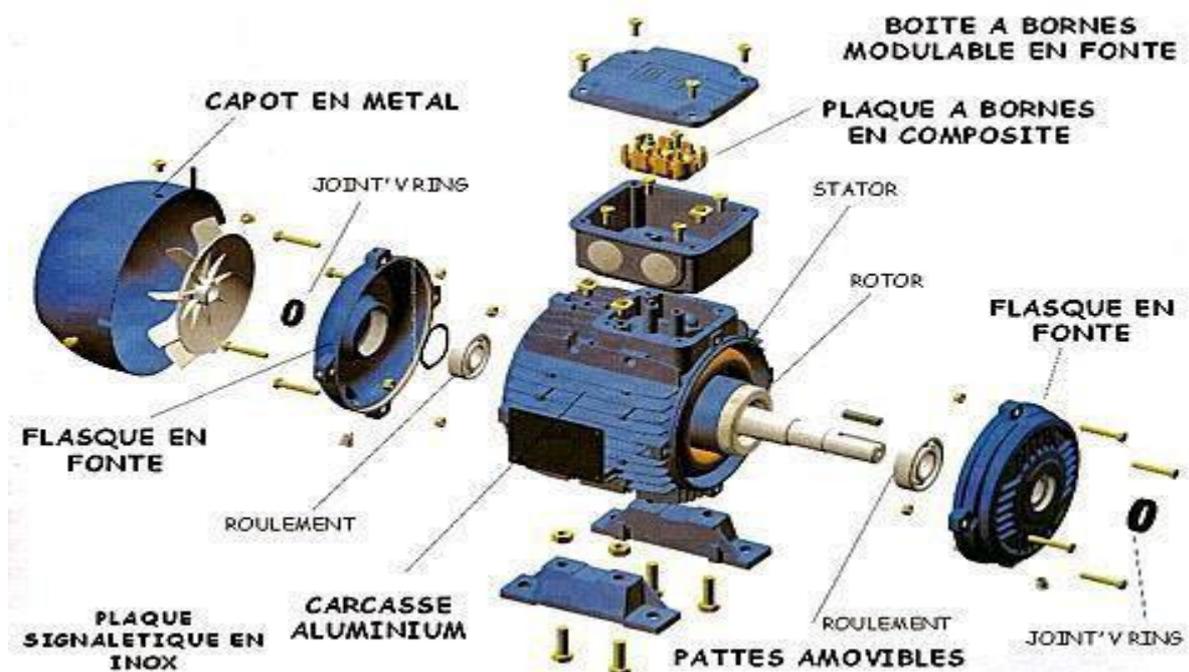
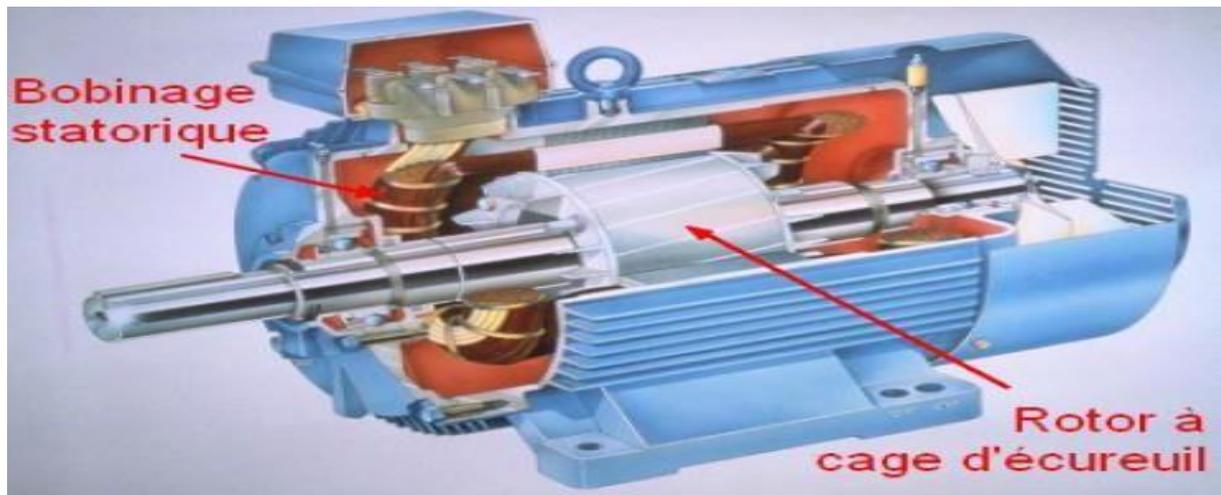
```
    delay(500); for (pos = 30; pos >=
0; pos -= 1)
    // (pos = 60; pos <= 90; pos += 1)
    {
servo2.write(pos);
delay(15);
    }
for (pos = 20; pos >= 0; pos -= 1) {
servo4.write(pos);    delay(10);
    }
for (pos = 80; pos >= 30; pos -= 1){
servo3.write(pos);    delay(8);
    }
delay(1000); for (pos = 0; pos <=
180; pos += 1) {    servo4.write(pos);
} for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 1)
{    servo4.write(pos)    delay(15); }
}
```

Annexe 2 : moteur à courant alternatif

La machine se compose de deux pièces principales :

Le stator est relié au réseau ou à un variateur de vitesse.

Le rotor est constitué de conducteurs en court-circuit qui sont parcourus par des courants induits par le champ magnétique créé par les courants statoriques.



REFERENCES

- [1.01] A. Benali, Robotique et Automatisation Industriel.
- [1.02] Bruno Siciliano et Oussama Khatib, Springer Handbook of Robotics, 2^e éd, Springer, 2016.
- [1.03] E. Dombre, Analyse et modélisation des robots manipulateurs, 2^{ème} éd. France : Hermès Sciences, 2001
- [1.04] H. BREIDENBACH, Conveyor Belt Technique Design and Calculation, NETHERLANDS
- [1.05] « Infrastructure » dans Laboratoire de commande et de robotique, Ecole de technologie supérieur.
- [1.06] Kenzia.S, réalisation d'un bras manipulateur, université m'Hamed bougara-boumerdes, juin 2017.
- [1.07] Loubna BOUMAGOUDA, Conception et Réalisation de la Commande d'un Bras Manipulateur ROB3 université Dr Tahar Moulay de Saida ; 2015
- [1.08] « L'art s'empare des robots industriels », Digital art and innovation, 2012.
- [1.09] Pruski Alain. Robotique générale. 1988.
- [1.10] S. MASSE, Sécurité des convoyeurs à courroie, QUEBEC, IRSST, 2004
- [1.11] S. RAJI, Etude et dimensionnement d'un système de manutention mécanique du ciment, université du FES Thèse de MASTER
- [1.12] WKhalil et E. Dombre, Modélisation identification et commande des robots, 2^eéd. Paris :Hermès Sciences, 1999.
- [1.13] W .Lionel B, Mécatronique cours avec exercices corrigés, Paris 5 me Laromiguière, 75005 : Dunod, 2016.
- [1.14] W« Arduino Mega » dans Arduino
- [1.15] <https://www.google.com/s/files/ressources/techniques/4836/4836-fanuc-introduction-la-robotique-juin-2014.pdf>. 02 Mars 2020
- [1.16] <http://www.cpge.eu/documents/coursPCSI/mecachap1.pdf> .10 Mars 2020
- [1.17] [https://www.kuka.com/fr-fr/produits-et-prestations/syst%C3%A8mes-de-robots/robots industriels/](https://www.kuka.com/fr-fr/produits-et-prestations/syst%C3%A8mes-de-robots/robots-industriels/) .02 Mars 2020
- [1.18] <https://www.google.com/search?client=firefox-bd&ei=SzuJX6nyNYKU1fAPnde5sA8&q=equation+diff%C3%A9rencielle+d%27un+moteur+%C3%A0+courant+continu&gs>. 16 octobre 2020,
- [1.19] http://eavr.u-strasbg.fr/wiki/upload/a/a4/Cours_rob_intro.pdf . 24 février 2020

- [1.20] <https://www.google.com/search?client=firefox-b-equation+diff%C3%A9rentielle+d%27un+moteur+%C3%A0+courant+courant+alternatif>.16 octobre 2020
- [1.21] http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf 10 juin 2020
- [1.21] <http://akizukidenshi.com/download/ds/towerpro/SG90.pdf> 10 juin 2020
- [1.22] <https://www.google.com/search?q=resistance+%C3%A0+corps+bleu&tbm>
- [1.23] <https://www.google.com/search?q=r%C3%A9sistance+100+ohm&tbm=isch&hl=fr&sa=X&ved>

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Nom : FANEVANTSOA
Prénoms : Tompoinarivo Jean Claude
Adresse de l'auteur : 08 N 380 Mahazoarivo Sud
Téléphone : 0345012557
E-mail : tompoinarivofanevantsoa@gmail.com



Titre du mémoire : bras manipulateur d'échantillons

Nombre de pages : 50 **Nombre**

de tableaux : 05

Nombre de figures : 38

Encadreur pédagogique : RALAIHARIJAONA Zandrison Richard

Téléphone : 0349245592

Mail : zandrison@gmail.com

RESUME ET MOTS CLES

L'étude d'un bras manipulateur est basée sur le modèle géométrique inverse. La méthode de Denavit Hartenberg Modifié est utilisée. Le robot est de type série et composée de 4 articulations actives. Le convoyeur a pour but de transporter les échantillons des produits. La conception du système se fait à une taille réduite. Les équipements nécessaires sont un microcontrôleur Arduino mega, des servomoteurs et d'autres pièces de récupérations.

Mots clés : Bras, robot, Arduino, convoyeur, articulations, Servomoteurs.

ABSTRACT AND KEYS WORDS

In this work, we are interested in the study and realization of the prototype of conveyer and of a manipulator arm with 4 degrees of freedom. It is an articulated mechanical structure, actuated by servo motors and controlled by the Arduino board.

Used the automatic control of the manipulator arm based on the programming by Arduino carte.

Key words: Manipulator arm, robot, Arduino, conveyer, servo motor.

